



ГЕОЛОГИЯ И ПОЛЕЗНЫЕ ИСКОПАЕМЫЕ ЗАПАДНОГО УРАЛА

Выпуск 2 (39)

Пермь 2019

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«ПЕРМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Геология и полезные ископаемые Западного Урала

Сборник научных статей

Выпуск 2(39)

Под общей редакцией П. А. Красильникова



Пермь 2019

УДК 550.8+622
ББК 26.3
Г36

Геология и полезные ископаемые Западного Урала: сб. науч.
Г36 ст. / под общ. ред. П. А. Красильникова; Перм. гос. нац.
исслед. ун-т. – Пермь, 2019. – Вып. 2(39). – 444 с.: ил.

ISBN 978-5-7944-3085-1

ISBN 978-5-7944-3294-7 (вып. 2(39))

Сборник содержит научные статьи по докладам 39-й Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, состоявшейся 21 мая 2019 г. на геологическом факультете Пермского государственного университета. Статьи посвящены геологии западного склона Урала, Камского Приуралья и прилегающих территорий. Рассмотрены общие вопросы геологии, проблемы минералогии, литологии, месторождений твёрдых полезных ископаемых, нефти и газа, а также вопросы геофизических методов исследования недр, гидрогеологии, карстоведения, инженерной геологии, экологической геологии.

Для геологов широкого профиля, нефтяников, геофизиков и других специалистов по исследованию недр Земли, добыче полезных ископаемых, экономистов, а также студентов геологических направлений и специальностей вузов.

УДК 550.8+622
ББК 26.3

*Печатается по решению ученого совета геологического факультета
Пермского государственного национального исследовательского университета*

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

к.г.н. П. А. Красильников (гл. редактор), д.г.-м.н. Р. Г. Ибламинов,
д.г.-м.н. Т. В. Карасёва, д.г.-м.н. В. Н. Катаев, д.т.н. В. И. Костицын,
д.г.-м.н. О. Б. Наумова, д.г.-м.н. В.В. Середин

ISBN 978-5-7944-3085-1
ISBN 978-5-7944-3294-7 (вып. 2(39))

© ПГНИУ, 2019

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ

А. В. Боталова¹, Е. Е. Кожевникова²

¹ПГНИУ, botalova.angelina2014@yandex.ru

²ПГНИУ, к.г.-м.н., eekozhevnikova@bk.ru

ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ КИРОВСКОЙ ОБЛАСТИ. ИСТОРИЯ ИЗУЧЕНИЯ И СОВРЕМЕННОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ

Территория Кировской области в региональном отношении приурочена к восточной части Русской плиты, к северной части Волго-Уральской антеклизы, только ее небольшая западная часть связана с восточной окраиной Московской синеклизы, входит в состав Волго-Уральской нефтегазоносной провинции. Вся площадь области относится к перспективным землям, но на данный момент добыча нефти ведется только на одном Золотаревском месторождении. Подтвержденная нефтегазоносность подталкивает на внимательное изучение накопленной информации о геологическом строении области для обобщения и выявления наиболее интересных и перспективных для открытия новых залежей элементов.

Ключевые слова: геологическое строение, нефтегазоносность, Волго-Уральская нефтегазоносная провинция.

A. V. Botalova¹, E. E. Kozhevnikova²

¹Perm State University, botalova.angelina2014@yandex.ru

²Perm State University, eekozhevnikova@bk.ru

GEOLOGICAL STRUCTURE OF THE KIROV REGION. HISTORY STUDY AND MODERN PRESENTATION

The article summarizes the materials on the study of the geological structure of the Kirov region over the past 90 years. The materials on the main tectonic elements identified in the study area are summarized. The most complex element is the Kazan-Kazhinsky avlacogene with a width of 40 to 110 km, a length of 600 km, located submeridionally in the central part of the region. According to the results of the generalization of the material, it was revealed that the most promising for the study and discovery of hydrocarbon deposits are the Upper Devonian-Tournaisian paleoshelf and the Kazan-Kazhinsky avlacogene.

Key words: Kirov region, Kazan-Kazhinsky avlacogene, North-Tatar anticline, Verkhnekamsk depression, Kotelnichsky buried anticline, Upper Devonian-Tournaisian paleoshelf, geological structure, crystalline foundation.

История изучения геологического строения

Вопросы о строении кристаллического фундамента и осадочного чехла Кировской области и сопредельных земель в различной степени рассматривались в работах З.И. Бороздиной, Р.Н. Валеева, В.И. Громеки, Р.Б. Давыдова, Г.Х. Дикенштейна, С.П. Егорова, В.М. Проворова, В.П. Троепольского, Р.О. Хачатряна, В.А. Широкова, С.С. Эллерна, А.Я. Яроша и других исследователей. Первые работы по изучению геологического строения нача-

лись в 30-х годах, в это время выявлены и закартированы такие крупные тектонические элементы, как Верхнекамская впадина (А.А. Борисов, О.П. Грацианова и другие). Основные работы по изучению геологического строения проходили в период с 1950-1980 х гг.

С 1988 года на территории Кировской области проводились региональные сейсморазведочные работы методом общей глубинной точки (МОГТ) по программе «Рифей». Основная часть этих работ проводилась в пределах Котельнического погребенного свода, Казанско-Кажимского авлакогена и Верхнекамской впадины (рис. 1).

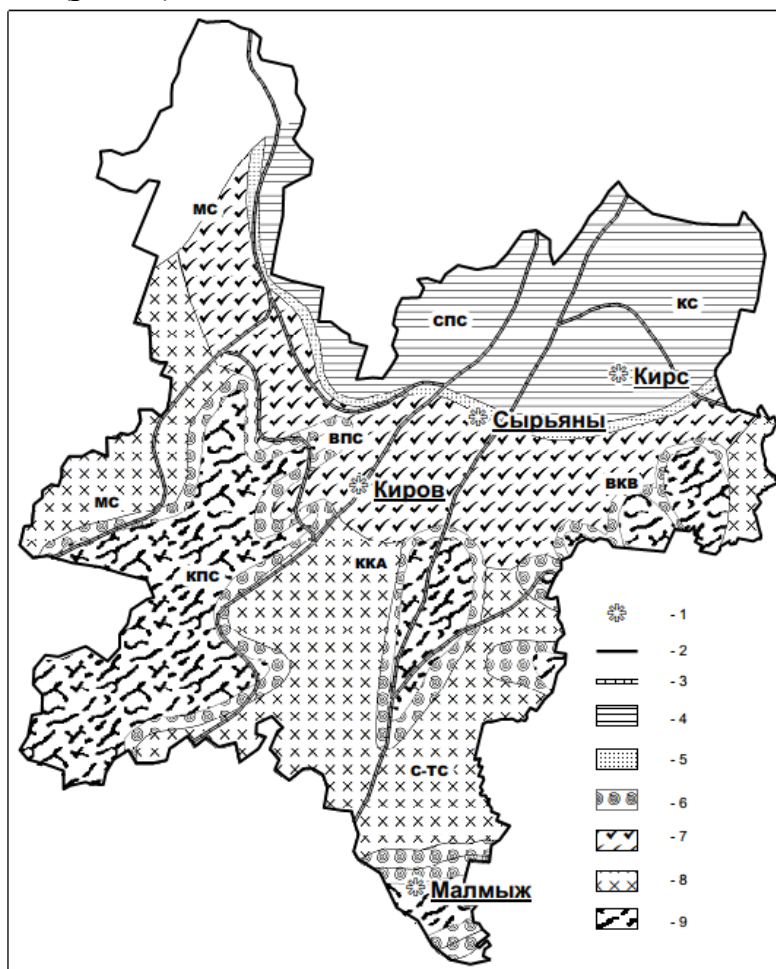


Рис. 1. Карта тектонического строения и расположения верхнедевонско-турнейского палеошельфа Кировской области (по материалам В.М. Проворова)

Условные обозначения: 1 – населенные пункты; 2 – административная граница Кировской области; 3 - границы крупных тектонических структур: КС – Камский свод, ККА – Казанско-Кажимский авлакоген, ВКВ – Верхнекамская впадина, СПС – Сыктывкарский погребенный свод, МС – Московская синеклиза, ВПС – Великорецкая погребенная седловина, КПС – Котельнический погребенный свод, С-ТС – Северо-Татарский свод; 4 – Сысольская палеосуша; 5 – прибрежные бары и косы; 6 – зона развития органогенно-карбонатных построек; 7 – Камско-Вятская система палеовпадин; 8 – Камско-Волжская система палеовпадин; 9 – палеоплато.

Наиболее масштабные работы на территории области – это сейсморазведочные работы МОГТ, проведенные в 1993-1997 годах в рамках программы «Вятская площадь» Костромской геофизической экспедицией, Р.Х. Бургановым составлен отчет по результатам проведенных работ. Общий объем проанализированных и отработанных профилей составил 2512 пог. км, охвативших площадь

73,6 тыс. км². Плотность сети профилей по территории исследований составила 0,034 пог. км/км². Исследованиями были охвачены в различной степени Котельнический свод и южная часть Сыктывкарского свода, Казанско-Кажимский авлакоген, северные территории Северо-Татарского свода и Верхнекамской впадины.

В разные периоды времени проведен ряд магнитометрических исследований в центральной части Казанско-Кажимского авлакогена и в южной части Кировской области (В.В. Орлов, В.А. Безукладнов и другие), целью которых являлось изучение тектонических и литолого-стратиграфических особенностей строения верхней части фундамента и осадочного чехла. По результатам выполненных работ, интерпретации полученного материала с использованием данных магниторазведки, информации по глубокому бурению, сейсморазведки МОГТ и частично электроразведки построена «Схема геолого-тектонического строения верхней части разреза кристаллического фундамента» в масштабах 1:500000 и 1:200000, значительное количество вспомогательных схем и карт, а также «Схема структур рельефа поверхности кристаллического фундамента для оценки перспектив нефтеносности», выполненная в масштабах 1:200000 и 1:500000.

В 1998-99 годах региональные работы по изучению геологического строения Кировской области проводились в соответствии с утвержденными планами и направлены, в основном, на изучение наиболее приоритетных, с точки зрения нефтеперспективности, тектонических регионов, таких как Казанско-Кажимский авлакоген, Верхнекамская впадина, Северо-Татарский свод и сопредельных с ними земель.

Последние сейсмические работы по изучению геологического строения проведены в 2009 году ПАО «Пермнефтегеофизика» по объекту «Регионально-зональные сейсморазведочные работы на Лимоновско-Вожгальской площади», но они охватили только: Лимоновско-Вожгальскую площадь, территорию Белохолуницкого, Зуевского, Кирово-Чепецкого, Куменского и Слободского районов.

По накопленным данным установлено, что для локальных структур Кировской области характерно сложное многокупольное строение и небольшие размеры (3). Все исследователи отмечают низкую плотность структурно-параметрического бурения, так часто в пределах контура выявленных по сейсмическим данным структур нет ни одной структурно-параметрической скважины, в том числе и на подготовленных структурах.

Фундамент и осадочный чехол

Длительная, меняющаяся во времени и пространстве история геологического развития изучаемой территории привела к формированию современного строения с унаследованными, наложенными, погребенными и структурными планами, к смещению структур различного ранга по площади и разрезу. Сложное сочетание пликативных и блоковых подвижек фундамента предопределило тектоно-седиментационные особенности развития и привело к образованию в осадочном чехле исследуемой территории нескольких структурных этажей:

рифейского, вендского, девонско-нижнетриасового, средне-юрско-мелового и кайнозойского (6). Они разделены перерывами в осадконакоплении, географическими и угловыми несогласиями залеганий пород. К наиболее древним этажам фундамента, выходящим на его поверхность, относится беломорский комплекс пород, имеющий нижнепротерозойский возраст, данные массивы хорошо выделяются по аномалиям региональных магнитных и гравитационных полей.

Наиболее сложный тектонический элемент Кировской области, протягивающийся через центральную часть территории, Казанско-Кажимский авлакоген (ККА) субмеридионального простирания (рис. 1). Имеет ширину от 40 км на севере и до 110 км на юге и простирается на длину около 600 км, южное окончание раздвоено. Борты, осложненные системами разломов, носят ступенчатый характер. Как отрицательная крупная структура прослеживается лишь от поверхности фундамента до кровли среднетиманских отложений. В надсреднетиманских структурных этажах, включая мезокайнозойские отложения, представлен системой линейных дислокаций – Вятской зоной валов (4). Авлакоген условно делится на две части – Казанскую и Кажимскую, которые отличаются как по характеру строения рельефа поверхности фундамента, так и по возрасту заполняющих его осадков. В пределах Казанской части, протягивающейся от района г. Казани до г. Кирова, рельеф фундамента имеет относительно сглаженные формы. На породах фундамента здесь залегают терригенные осадки среднего девона, которые часто называются Казанско-Кажимским эйфельско-тиманским грабеном. Кажимская часть, получившая название Кажимского центрального рифейского грабена, представляет собой грабен древнего заложения, заполненный мощной толщей песчаников рифейского возраста. В целом по кровле девонских пород оба этих ложа представляют единый Казанско-Кажимский авлакоген, который разделяет две крупные зоны сводовых поднятий фундамента: Татарско-Коми-Пермяцкую и Токмовско-Котельническо-Сыктывкарскую, где глубины фундамента колеблются в основном от 1,5 до 2,0 км. В пределах исследуемой территории Татарский свод заходит своей Северной вершиной (рис. 1). Кильмезский прогиб Северо-татарского свода (С-ТС) подразделяется на Кукморский и Немский выступы, по бортам последнего в девонско-турнейском комплексе картируются рифовые зоны. Кукморский выступ прослеживается как положительная структура и в осадочном чехле, в то время как Немский выступ перекрыт одной из зон гетерогенной Верхнекамской впадины (по верхнепермским отложениям).

На севере области развита система сводовых поднятий фундамента, западней Казанско-Кажимского авлакогена представленная Сыктывкарским, а восточней – Котельническим погребенными сводами (рис. 1). Выделенные своды слабо изучены, по накопленным данным имеют сложное строение, в их пределах выделяются выступы фундамента и валы, они погребены надсреднетиманскими отложениями девона, пермо-карбона и мезокайнозоя.

На территории Кировской области также выделяется крупный тектонический элемент, прослеживающийся по всем структурным этажам – это Московская синеклиза (рис. 1). В ее пределах глубина залегания фундамента возрастает до 2,5-2,7 км.

На протяжении длительной истории геологического развития территория Коми-Пермяцкого свода часто занимала доминирующее положение и служила зоной размыва ранее сформировавшихся осадков (6). Особенно сильные размывы произошли в предвизейский период и в башкирское время. В этот период произошла смена тектонического режима, территория свода стала зоной интенсивного осадконакопления. На месте свода сформировалась центральная часть Верхнекамской впадины (рис. 1). В разрезе впадины выделяются отложения всех нефтегазоносных комплексов региона, а также установлены залежи углеводородов промышленного значения. Существуют также предположения о наличии очага генерации углеводородов в пределах данного тектонического элемента (2).

Строение осадочного комплекса пород, представленного рифейскими, вендскими, терригенными и карбонатными отложениями девонской и каменноугольной системы. В отложениях пермского возраста отмечены линзы гипса и ангидрита, триасовые отложения представлены пестроцветными терригенными породами и четвертичными образованиями. Осадочный чехол подразделяют на ряд структурных этажей, стратиграфический объем которых меняется с юга на север. Это изменение во многом связано с характером рельефа поверхности фундамента и с мощностью всего осадочного комплекса, который в основном зависит от полноты разреза терригенной толщи среднего и верхнего девона и от присутствия осадков додевонского возраста.

Верхнедевонско-турнейский палеошельф

Отдельного внимания заслуживает выделенный В.М. Проворовым верхнедевонско-турнейский палеошельф, прослеженный по данным сейсмических исследований, который играет важную роль в нефтегазоперспективности недр (5). Камско-Кинельская система впадин, широко развитая на территории Пермского края и контролирующая размещение залежей углеводородов, на изучаемой территории представлена Можгинской впадиной и пересекает Кировскую область на небольшом участке юго-востока. К северо-западу от этой системы выделяют Камско-Вятскую и Камско-Волжскую системы некомпенсированных впадин (рис. 1). Камско-Вятская система палеовпадин окаймляет Сысольскую палеосушу. Битуминозные кремнисто-глинистые сланцы встречаются с верхнетиманских отложений и возгораются от спички. Саргаевские и доманикомандымские отложения содержат органическое вещество в концентрации более 5 %, преобладает сапропелевая органика с примесью гумуса (1). Для Камско-Волжской системы впадин характерно повышенное содержание битуминозно-глинистых пород мощностью в несколько десятков метров в верхней части девонско-турнейского комплекса, а ниже, в карбонатных отложениях, отмечается повышенное содержание глинистых минералов.

Изучение строения элементов верхнедевонско-турнейского палеошельфа важно для поисков залежей углеводородов в отложениях девонско-турнейского карбонатного, визейского терригенного, визейско-башкирского карбонатного и верейского терригенно-карбонатного комплексов.

Выводы

Кировская область нуждается в дальнейшем проведении региональных, зонально-региональных сейсморазведочных работ. Существующая средняя плотность сейсмопрофилей на территории области неравномерная и низкая. Также за всю историю изучения геологического строения территории проведен незначительный объем глубокого бурения. Наиболее изученным является Верхнекамская впадина, вероятно с этим и связана приуроченность всех открытых месторождений углеводородов именно к этому элементу.

По имеющимся данным территория области имеет сложное строение, отмечается несоответствие структурных планов осадочного чехла и поверхности кристаллического фундамента. Мощность и полнота осадочной толщи невыдержанная по площади, наиболее осложненное строение имеет Казанско-Кажимский авлакоген, характеризующийся изменением мощности, выклиниваем стратиграфических единиц, погружением кристаллического фундамента, осложнением грабенами.

Основные направления дальнейших геолого-разведочных работ стоит сосредоточить на изучении Казанско-Кажимского авлакогена, перспективного на открытие залежей углеводородов в девонских отложениях. Перспективность же более молодых отложений девонско-турнейского карбонатного, визейского терригенного, визейско-башкирского карбонатного и верейского терригенно-карбонатного комплексов скорее связана со строением верхнедевонско-турнейского палеошельфа.

Библиографический список:

1. *Белоконь Т. В.* Геолого-геохимические аспекты нефтеобразования в осадочных толщах Кировской области / Белоконь Т. В., Проворов В. М. // Геология нефти и газа 1985. № 3. С. 30–36.
2. *Влияние* эволюции гетерогенных эпиплатформенных впадин на формирование очагов нефтегазообразования и нефтегазоаккумуляции [Текст]: научное издание / В. М. Проворов, А. З. Коблова, Т. В. Белоконь // Тектон. циклич. и нефтегазонос. М., 1985. С. 64–75.
3. *Давыдов Р. Б.* Методические аспекты поисковой геологии в Кировской области // Геологическое строение и перспективы развития минерально-сырьевой базы Кировской области: Материалы научно-практической конференции-Киров, 1998. С. 114–119.
4. *Кальнов Ю. Н.* Казанско-Кажимский авлакоген основной объект нефтепоисковых работ // Геологические особенности и перспективы нефтегазоносности Кировской области: Материалы научно-практической конференции-Киров, 2000. С. 68–69.
5. *Проворов В. М.* Особенности строения и нефтегазоносности верхнедевонско-турнейского палеошельфа северных и западных районов Урало-Поволжья [Текст]: научное издание / В. М. Проворов // Геол. нефти и газа. 1992. № 7. С. 16–19. ISSN 0016-7894
6. *Проворов В. М.* История геологического развития // Минерально-сырьевые ресурсы Пермского края. Пермь, 2006. С. 93–110.
7. *Кожевникова Е. Е.* Геологическое строение и нефтегазоносность девонских терригенных отложений Пермского края и прилегающих территорий // Вестник Пермского университета. Геология. 2017. Т. 16. № 4. С. 393–397.

ВЛИЯНИЕ ФУНДАМЕНТА НА ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ ЗАПАДНОГО УРАЛА

Проанализировано строение зоны сочленения Русской, Печорской плит и Уральской складчатой области по геофизическим данным. Показана роль плитных фундаментов в байкальском тектоническом цикле развития территории.

Ключевые слова: фундамент, Урал, геофизические данные, байкальский тектонический цикл

R. G. Iblaminov, V. A. Gershanok, Yr. G. Paktovsky
Perm State University, riaminov@psu.ru

INFLUENCE OF RUSSIAN AND PECHORA PLATES ON THE FORMATION OF THE URALS

Analyzed the structure of the basement zone of the junction of the Russian and Pechora plates and the Ural folded area according to geophysical data. The role of plate foundations in the Baikal cycle of territory development is shown.

Key words: foundation, Urals, geophysical data, Baikal cycle

Геологическая история территории Пермского края типична для зон сочленения платформенных и складчатых областей. Здесь геологические процессы протекали в условиях последовательно сменявших друг друга *мегаэпох* и отвечающих им серий тектонических обстановок: эмбриональной тектоники плит архея, тектоники малых плит раннего протерозоя, внутриплитной тектоники позднего протерозоя и окраинно-плитной тектоники фанерозоя (Ибламинов, Алванян, 2018).

Особенности геологического развития территорий в значительной степени определяются их глубинным строением. На строение континентальной коры и минерагению северо-востока Европейского континента большое влияние оказывает структура поверхности Мохо (Костицын В.И. и др., 2018). В настоящей работе проанализирована роль кристаллического фундамента в геологическом строении осадочного чехла и развитии региона.

Одними из первых комплексный анализ данных грави- и магнитометрических съемок, характеризующих глубинное строение востока Пермского края, осуществили Ю.Л. Будрин и В.А. Цыганков при составлении Схемы интерпретации физических полей западного склона Северного и Среднего Урала в 1990 г. (Зильберман, Цыганков, 1994).

Анализ этой схемы позволил выдвинуть гипотезу о том, что ориентированные в широтном направлении чередующиеся положительные магнитные аномалии и гравитационные аномалии, сочетающиеся с пониженной магнитной восприимчивостью, представляют собой отражение в физических полях чере-

дующихся зеленокаменных и гранитогнейсовых поясов. Такие пояса характерны для гранит-зеленокаменных областей (ГЗО) архейских кратонов (Ибламинов, 2000, 2002).

Эффективным инструментом изучения строения кристаллического фундамента является совместный анализ гравитационного и магнитного полей. Теоретические основы для комплексной интерпретации заложены в формуле Пуассона, связывающей магнитный потенциал U с вертикальной производной $\frac{\partial V}{\partial z}$ гравитационного потенциала (Гершанок, Дергачев, 2012)

$$U = -\frac{I}{f\sigma} \frac{\partial V}{\partial z}, \quad (1)$$

где I – модуль вектора интенсивности намагничивания, σ – аномальная плотность, f – гравитационная постоянная. Формула показывает, что источниками обоих полей являются одни и те же геологические объекты. Дальнейшее развитие идеи комплексной интерпретации двух полей привело к использованию параметра K , представляющего собой адмиттанс этих полей (Чадаев, Гершанок, 1998):

$$K = \frac{\Delta g_{\text{норм.}}}{\Delta T_{\text{норм.}}}, \quad (2)$$

где $\Delta g_{\text{норм.}}$ – нормированное по максимуму значение аномалии Буге, а $\Delta T_{\text{норм.}}$ – нормированное по максимуму значение напряженности магнитного поля.

Адмиттанс акцентирует синхронные изменения полей и заглушает влияния случайных ошибок. Благодаря этому существенно повышается чувствительность параметра к неоднородностям геологического строения и расширяется спектр решаемых геологических задач, повышается надежность интерпретации. Таким образом, параметр K является мультипликативным показателем, характеризующим связь гравитационного и магнитного полей.

Для территории востока Пермского края была построена карта в изолиниях значений адмиттанса (рис. 1), которая, по нашим представлениям, отражает геологическое строение и состав кристаллического фундамента (Чадаев и др., 2011).

Исследование строения фундамента позволили нам сделать важные выводы о его влиянии на особенности строения осадочного чехла и геологическую историю развития территории востока Пермского края.

1. Подтвержден известный факт отличия фундамента северной части территории, где расположена Печорская плита, от ее южной части, где находится Русская плита. Северная часть территории характеризуется значениями адмиттанса меньше 1. Они отражают отличие в строении физических полей фундамента Печорской плиты от Русской. Низкие значения адмиттанса указывают на относительное преобладание нормированных значение приращений магнитного поля над приращениями гравитационного. Это может указывать, во-первых, на преобладание в фундаменте Печорской плиты базальтоидов и, во-вторых, на ее относительную однородность.

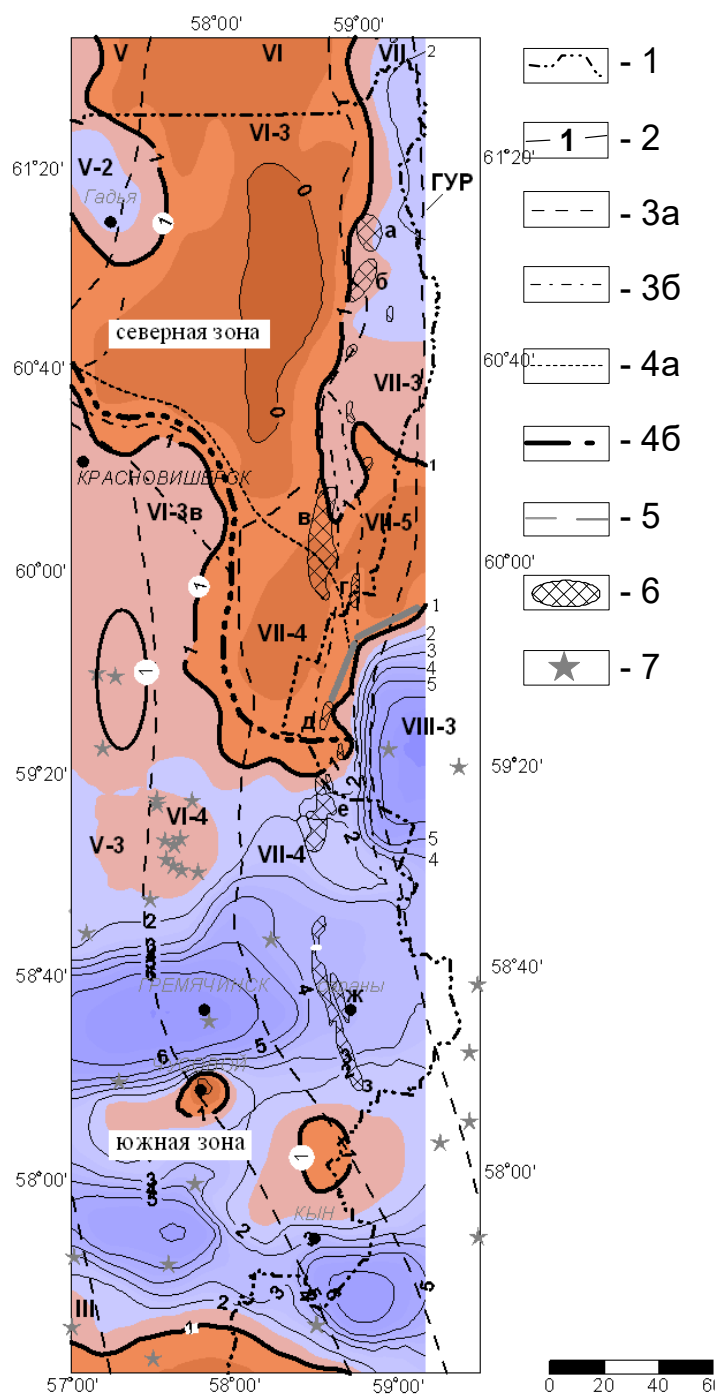


Рис. 1. Карта строения фундамента Русской (южная зона) и Печорской плит (северная зона) восточной части Пермского края по значениям адмиттанса: 1 – граница Пермского края; 2 – изолинии значений адмиттанса, $|\Delta g_{\text{норм}}|/|\Delta T_{\text{норм}}|$; 3 – границы структур чехла: 3а – второго порядка, 3б – третьего порядка; 4 – границы фундаментов Русской и Печорской плит: 4а – по имеющимся данным, 4б – по данным авторов; 5 – разломы; 6 – поля распространения даек габбро-долеритов; 7 – эпицентры землетрясений. Наименование структур: III – Волго-Уральская антеклизы; V – Предуральский краевой прогиб, мегавпадины: V-2 – Больше-сыньинско-Верхнепечорская, V-3 – Уфимско-Соликамская; VI – Западно-Уральская внешняя зона складчатости, структуры: VI-3 – Щугоро-Вишерская, VI-4 – Кизеловско-Дружининская, VI-3в – Полюдовско-Колчимская; VII – Центрально-Уральское поднятие, мегантиклинории: VII-3 – Ляпинско-Кутимский, VII-4 – Кваркушско-Каменногорский, VII-5 – Улсовско-Висимский мегасинклинорий; VIII-3 – Тагильский мегасинклинорий.

В пределах Русской плиты отчетливо видны субширотные геофизические структуры чередующихся гранитогнейсовых (синее) и зеленокаменных (оранжевое) поясов (Чадаев и др., 2011)

Фундамент Русской плиты существенно отличается своей неоднородностью. Значения адмиттанса большей частью превышают единицу и достигают шести. Здесь присутствуют субширотные геологические структуры, фиксирующиеся чередующимися зонами повышенных и пониженных значений мультипликативного поля (см. рис. 1). Зоны повышенных значений адмиттанса отвечают линейным гравитационным аномалиям с пониженными величинами напряженности магнитного поля. Они могут соответствовать наличию в фундаменте гранитогнейсовых поясов. Зоны пониженных значений адмиттанса отвечают линейным аномалиям магнитного поля с пониженными значениями плотности. Такие физические свойства присущи зеленокаменным поясам.

Таким образом, строение мультипликативного поля адмиттанса, характерное для ГЗО, позволяет полагать, что в течение первых двух мегаэпох истории Зем-

ли (палеоархейской, AR_1 и мезонеоархейской, AR_{2-3}) сформировался архейский археократон фундамента территории Восточно-Европейской платформы, в том числе востока Пермского края.

Субширотная ориентировка структур Русской плиты была подтверждена на объемной модели геофизических полей фундамента описываемого региона. Она была построена с применением системы «VECTOR» (Чадаев и др., 2011). Компьютерная система «VECTOR» была создана в Горном институте УрО РАН под руководством проф. В.М. Новоселицкого (Простолупов и др., 2006). Она базируется на вычислении векторов горизонтальных градиентов силы тяжести, их обработке, трансформациях и последующем интегрировании трансформант. Система реализует новый метод интерпретации потенциальных полей – векторное сканирование. Горизонтальное сечение этой модели для гравитационного поля на глубине порядка 20 км приведено на рис. 2.

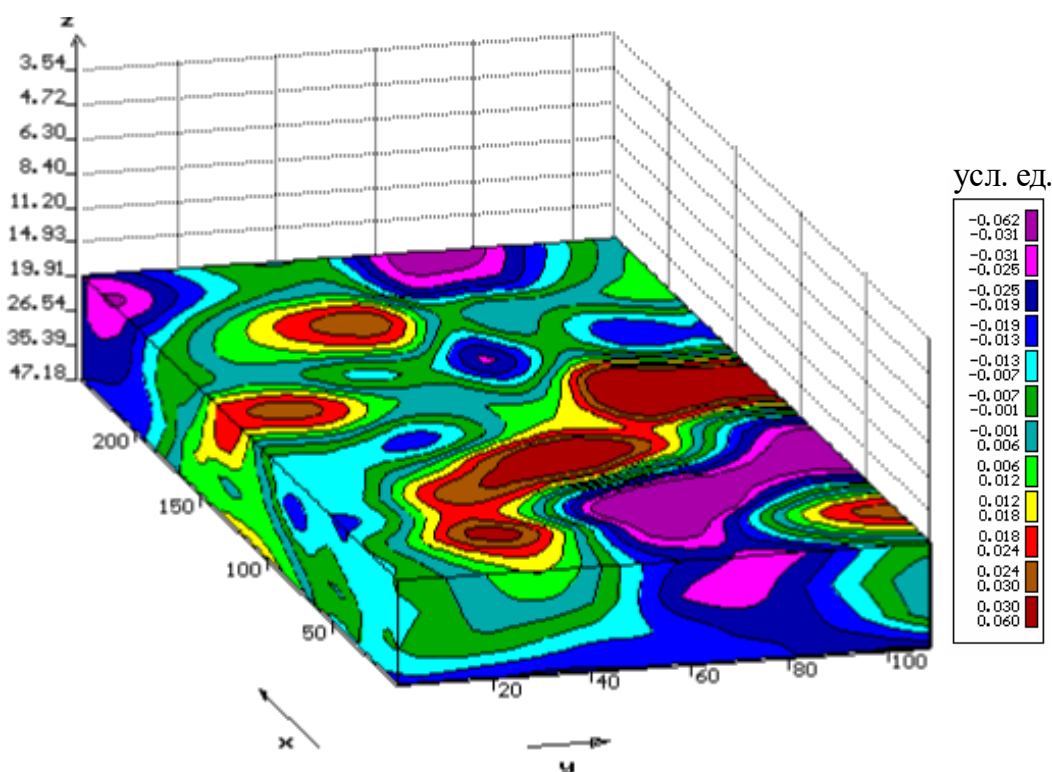


Рис. 2. Горизонтальное сечение 3-D диаграммы нормированного гравитационного поля южной зоны на эффективной глубине 19.9 км

2. Широтные структуры фундамента прослеживаются вплоть до Главного Уральского разлома (ГУР). Следовательно, можно полагать, что Западный склон Урала развивался на архейском фундаменте Русской плиты.

3. Фундамент Печорской плиты, характеризующийся низкими значениями адмиттанса, имеет секущее положение к фундаменту Русской плиты. Это еще раз подчеркивает ее более молодой возраст. Формирование фундамента связано с развитием Печорского палеоокеана и активизацией Русской плиты, в которой плитный режим палеопротерозоя сменился режимом плитной активизации в мезопротерозое. Мезопротерозойская (PR_2) часть мегаэпохи внутриплитной тектоники включает нижний (RF_1) рифей (бурзяний, 1650 – 1350 млн. л.)

и средний (RF_2) рифей (юрматиний, 1350 – 1030 млн. л.). Доказательством активизации служит активное формирование на юго-востоке Русской плиты (в современных координатах) в раннем рифее (бурзянии) Калтасинского прогиба, заполненного карбонатно-терригенной формацией кирпичной серии нижнего рифея (Петров, 2006). Прогиб продолжается до Главного Уральского разлома, где сопоставляется с бурзянием Южного Урала. Осадки прогиба формируются вначале в трансгрессивной обстановке (терригенная айская свита), затем в инундационной (сланцево-карбонатные саткинская и бакальская свиты).

В среднем рифее (юрматинии) мезопротерозоя тектоническая активизация Русской плиты усилилась, начали формироваться многочисленные рифтовые структуры, в том числе на территории Пермского края. Рифтогенная активизация весьма интенсивно проявилась на восточной окраине Русской плиты. Здесь сформировался крупный региональный рифт, который протянулся от Южного Урала до Северного, от Верхнекусинско-Зилаирского мегасинклинория до Кваркушско-Каменногорского мегантиклинория Центрально-Уральского поднятия (по тектонической схеме И.Д. Соболева, 1966).

В Пермском крае в Уральской складчатой области породы, относимые к среднему рифею, обнажаются в Полюдово-Колчимской структуре на Тимане и в Центрально-Уральском поднятии, в частности в Верхнепечорско-Кутимском антиклинории. Обе названные структуры развивались на архейском фундаменте Русской плиты (рис. 1).

Обратившись к геологическому разрезу структур можно заметить их сходство. На Полюдово-Колчимском антиклинории Тимана вскрытый скважинами разрез начинают кварцитопесчаники рассольнинской свиты верхнего рифея (RF_{3rs}), которые лежат на карбонатах. Вскрытая часть карбонатов представлена мраморизованными известняками с прослоями доломитов, наличие которых свидетельствует о лагунной инундационной тектонической обстановке. Постепенная смена карбонатов аргиллитами алевролитами и аркозовыми песчаниками (RF_{3rs1}) указывает на углубление бассейна и переход к трансгрессивной обстановке. При этом обращает внимание присутствие аркозов, источником которых могли быть гранитогнейсы окружающего депрессию архейского кристаллического фундамента, а также присутствие фисташково-зеленых аргиллитов, обусловленных зеленокаменными породами архея.

В пределах Верхнепечорско-Кутимского антиклинория Центрально-Уральского поднятия средний рифей представлен мраморизованными карбонатными породами со строматолитами мойвинской и муравьиной свит (RF_{2mv+mr}). Породы образуют карбостромовую формацию. Инундационная обстановка среднего рифея, когда существовал морской бассейн, в позднем рифее сменилась регрессивной прибрежной обстановкой, которой отвечает мощная толща кварцитопесчаников ишеримской свиты ($RF_3 is$), содержащей толщи серых песчаников с прослоями косослоистых гематитовых песчаников, а в верхней части разреза аркозовых кварц-полевошпатовых песчаников (фалаховая формация).

Описанная близость состава геологических формаций Полюдово-Колчимской и Верхнепечорско-Кутимской структур, а также присутствие

в их основании одинакового архейского фундамента позволяют предположить, что названные структуры вначале существовали как края (борта) единого межконтинентального рифта. Дальнейшее раскрытие рифта (спрединг) привело к образованию Печорского палеобассейна.

Спрединг в Печорском палеобассейне по-видимому затронул и северную часть Кваркушско-Каменногорской зоны. Данное предположение основывается на различии строения фундамента зоны. Ее большая часть поκειται на архейском фундаменте, тогда как северная – на фундаменте Печорской плиты.

Можно предположить, что подобное интенсивное воздействие на архейский фундамент со стороны Печорского палеобассейна привело к появлению среди толщ позднего протерозоя расслоенного сарановского комплекса. Положение последнего также контролируется строением архейского фундамента. Ибо комплекс располагается над гранитогнейсовым поясом (см. рис. 1).

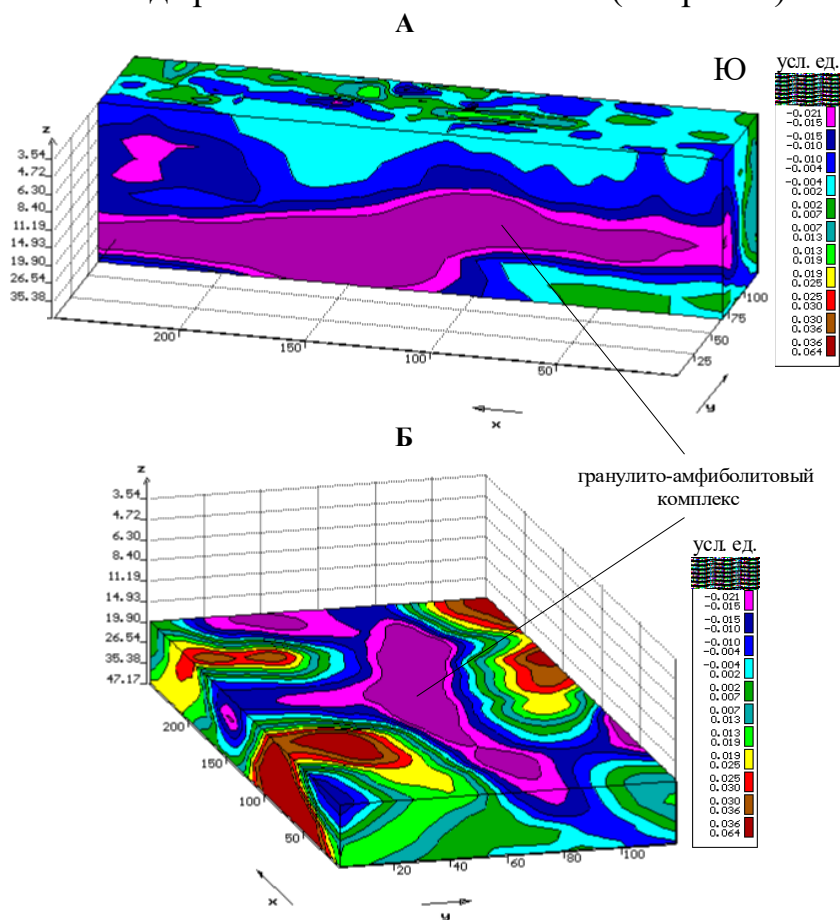


Рис. 3. Сечения 3-D диаграмм нормированного гравитационного поля: А – вертикальное по линии II-II (северная зона); Б – горизонтальное на эффективной глубине 19.9 км – северная зона

4. Вертикальное (рис. 3а) и горизонтальное (рис. 3б) сечения модели фундамента Печорской плиты показывают ее расслоенность. На вертикальном разрезе отчетливо видно надвижение менее плотных пород фундамента Печорской плиты на породы части разреза Русской плиты. Это, вероятно, обусловлено процессами субдукции.

Литологическим признаком субдукции может быть присутствие в разрезе пород середины чурочинской свиты нижнего венда Полюдово-Колчимской структуры пачки континентальных конгломератов.

В конце венда субдукция перешла в коллизию, в результате которой имел место орогенез и формирование Мезенского предтима́нского прогиба (Маслов, 2012). Тем самым закончился Байкальский тектонический цикл, Печорская плита вошла в состав Европейского континента. Территория восточной окраины континента перешла в эмерсивную стадию тектонического развития, когда господствовали процессы эрозии, наступил эпибайкальский плитный режим, существовавший в течение кембрия.

Библиографический список:

1. Зильберман А. М., Цыганков В. А. Глубинные структуры Западного Урала и Приуралья // Прогнозирование и методика геолого-геофизических исследований месторождений полезных ископаемых на Западном Урале. Пермь: Перм. ун-т, 1994. С. 3–4.
2. Гершанок В. А., Дергачев Н. И. Теория поля: учебник. М.: Изд-во Юрайт, 2012. 278 с.
3. Ибламинов Р. Г. Глубинное строение и алмазоносность Западного Урала // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении. Научные чтения памяти П.Н. Чирвинского: Сб. науч. статей. Пермь: Изд-во Пермского ун-та, 2000. С. 74–76.
4. Ибламинов Р. Г. Геологическая история Сарановского месторождения хромовых руд – отражение истории развития региона // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении. Научные чтения памяти П. Н. Чирвинского: Сб. науч. статей. Пермь: Пермский ун-т, 2002. С. 229–Р. Г. Алванян А. К. Региональная минерализация общераспространенных полезных ископаемых (на примере Пермского края): монография / Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2018. 120 с.
5. Кондияйн О. А., Казак А. П., Якобсон К. Э. Рифей и венд // Геология и полезные ископаемые России. СПб: изд-во ВСЕГЕИ, 2011. Т. 1. Запад России и Урал. Кн. 2. Урал. С. 229–234.
6. Костицын В. И., Ибламинов Р. Г., Чадаев М. С., Гершанок В. А., Простолупов Г. В., Тарантин М. В. Глубинное строение и минерализация северо-востока Европейского континента по геофизическим данным // Геология и полезные ископаемые Западного Урала: сб. ст. / под общ. ред. Р.Г. Ибламинова; Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2018. С. 11–15.
7. Маслов А. В. Литогеохимия терригенных пород верхнего докембрия Волго-Уральской области / УрО РАН. Екатеринбург. 2012. 248 с.
8. Петров Б.В. Позднедокембрийский платформенный этап // Геология и полезные ископаемые России. СПб: изд-во ВСЕГЕИ, 2006. Т. 1. Запад России и Урал. Кн. 1. Запад России. С. 229–234.
9. Простолупов Г. В., Новоселицкий В. М., Конешов В. Н., Щербинина Г. П. Об интерпретации гравитационного и магнитного полей на основе трансформации горизонтальных градиентов в системе «VECTOR» // Физика Земли. 2006. № 6. С. 90–96.
10. Чадаев М. С., Гершанок В. А. Система глубинных разломов земной коры Пермского Приуралья на основе совместного анализа гравитационного и магнитного полей // Геофизические методы поисков и разведки месторождений нефти и газа: межвуз. сб. науч. тр. / ПГУ. Пермь, 1998. С. 38–46.
11. Чадаев М. С., Ибламинов Р. Г., Гершанок Л. А., Гершанок В. А., Простолупов Г. В. Геологические структуры западного склона Северного и Среднего Урала по данным гравиметрии и магнитометрии // Литосфера. 2011, № 6 с. 134–140.
12. Ибламинов Р. Г. Новая классическая монография о геологии западного Урала // Вестник Пермского университета. Геология. 2011. № 3. С. 102–105.

ПРЕДПОЛАГАЕМЫЕ ДИАТРЕМЫ ЛАМПРОИТОВ НА СЕВЕРО-ВОСТОКЕ КИРОВСКОЙ ОБЛАСТИ

В статье приводится описание предполагаемых лампроитовых пород на северо-востоке Кировской области, выделенных при дешифрировании космоснимков. Приведены результаты изучения шлифов.

Ключевые слова: лампроиты, дешифрирование, шлифы

L. P. Nelzin
АО «Geokarta-Perm»

THE PROSPECTIVE DIATREMES OF LAMPROITES IN THE NORTH-EAST OF KIROVSKAYA REGION

The description of prospective lamproites in the North-East of Kirovskaya Region which are found due to detecting of space images. The results of thin sections investigation are given.

Key words: lamproites, space images, thin sections

В данной работе описаны объемные ландшафтные аномалии, выделенные при дешифрировании космоснимков Google Earth, которые по ряду внешних признаков отождествляются с диатремами лампроитов. Всего выделено 7 объектов различного размера от 100 до 1200 метров.

В мае 2018 года в тезисах к докладу (1) рассматривалась крупная контрастная аномалия «Лозиб», которая была отождествлена как предполагаемая диатрема лампроитов.

В июне 2018 года была проведена полевая заверка результатов дешифрирования. В процессе этих работ была исследована территория, прилегающая к объекту «Лозиб». Древесная растительность представлена на 90 % хвойными породами. Коренные породы на обследованной территории перекрыты мало-мощным чехлом современных осадков мощностью 0,2 – 0,3 метра, под которыми скрываются коренные породы среднеюрских отложений, представленные светло-желтыми песками и белыми тонкоплитчатыми песчаниками.

Полевая заверка, как и все остальные работы по изучению объекта «Лозиб», производилась по собственной инициативе автором с сыном И.Л. Нельзиным.

Результаты рекогносцировочных работ в районе предполагаемой диатремы «Лозиб» (1) полностью соответствуют результатам дешифрирования космоснимков. Среди сосновых лесов объект «Лозиб» выделяется как крупный изометричный холм диаметром более 1 км и высотой до 40 м. Древесная растительность почти полностью отсутствует, за исключением участка бывшей деревни «Лозиб», где вдоль улицы сохранились старые тополя и осины. Остальная часть холма заросла высокой (1,7 м – 1,8 м) густой травой. Густой травой

стой резко снижает видимость до 1 – 1,5 м, что сильно влияет на эффективность маршрутных исследований. Вдоль маршрута, пройденного в ЮВ части объекта «Лозиб», коренных выходов пород обнаружено не было. Для изучения пород, слагающих холм, в точках наблюдения 16 и 17 были пройдены закопашки глубиной до -0,3 м, из которых отобраны образцы: Л-16 и Л-17. Первая проба представлена темно-коричневой тонко-брекчированной комковатой породой, которая легко разрушается при надавливании, местами встречаются порфировидные участки за счет белых включений; вторая проба представлена серой с коричневатым оттенком более крепкой породой неоднородной по составу.

Из отобранных образцов было изготовлено необходимое количество прозрачных шлифов и проб на спектральный и силикатный анализы. Результаты этих анализов следует рассматривать критически, с учетом того, что представленные на изучение образцы пород затронуты процессами выветривания. Поэтому истинная картина химизма и минералогии искажена и не полностью отражает состав и петрографию материнских горных пород. Все шлифы для изучения и описания были переданы доктору г.-м. наук Фаине Алексеевне Курбацкой. Сделанное ею краткое петрографическое описание пород по объекту «Лозиб» приведено в конце статьи.

В камеральный период 2018 – 2019 годов, в дополнение к имеющимся материалам по дешифрированию космоснимков по объекту «Лозиб», были получены более детальные снимки, в том числе радиолокационные.

На детальных радиолокационных снимках отображаются коренные породы, среди которых выделяются крутопадающие пласты или отдельность мощностью до 20 м, которые разделены более тонкими «слоями» мощностью до -1,5 м. Аналогичный рисунок этого же участка дешифрируется непосредственно южнее под почвенным слоем мощностью до 0,3 м в видимом диапазоне частот (рис. 1).

На радиолокационном снимке центральной части объекта «Лозиб» дешифрируется сложное геологическое строение с видимым несогласным залеганием(?) крутопадающих пород (или отдельностей). Такое же «несогласное» залегание дешифрируется на космоснимке более крупного масштаба, а в т.н. 4 выделяется небольшой (10 * 2 м) объект, похожий на дайку (рис. 2).

При дальнейшем дешифрировании космоснимков в верхнем течении реки Камы выделена ландшафтная аномалия «Нюба», которая находится севернее объекта «Лозиб» и имеет аналогичную ей структуру фото рисунка. По всей вероятности данный объект имеет ту же природу, что и диатрема «Лозиб». Размер, предполагаемой диатремы «Нюба», ровно в 2 раза меньше по размеру и высоте, и имеет склоны, осложненные кольцевыми ступенями шириной до 70–100 м.

При дешифрировании этой структуры по характеру растительности выделяется различная древесная растительность, в центре наряду с густым травостоем выделяются лиственные породы, в том числе осина. На нижней ступеньке структуры преобладает хвойная растительность.

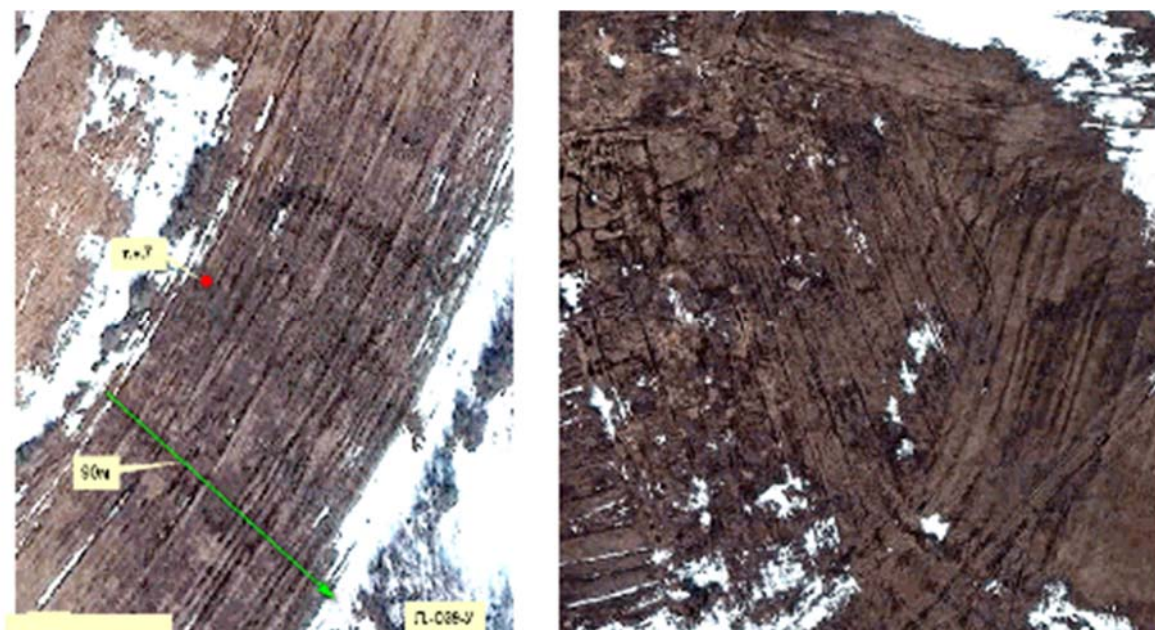


Рис. 1. Космоснимки участка

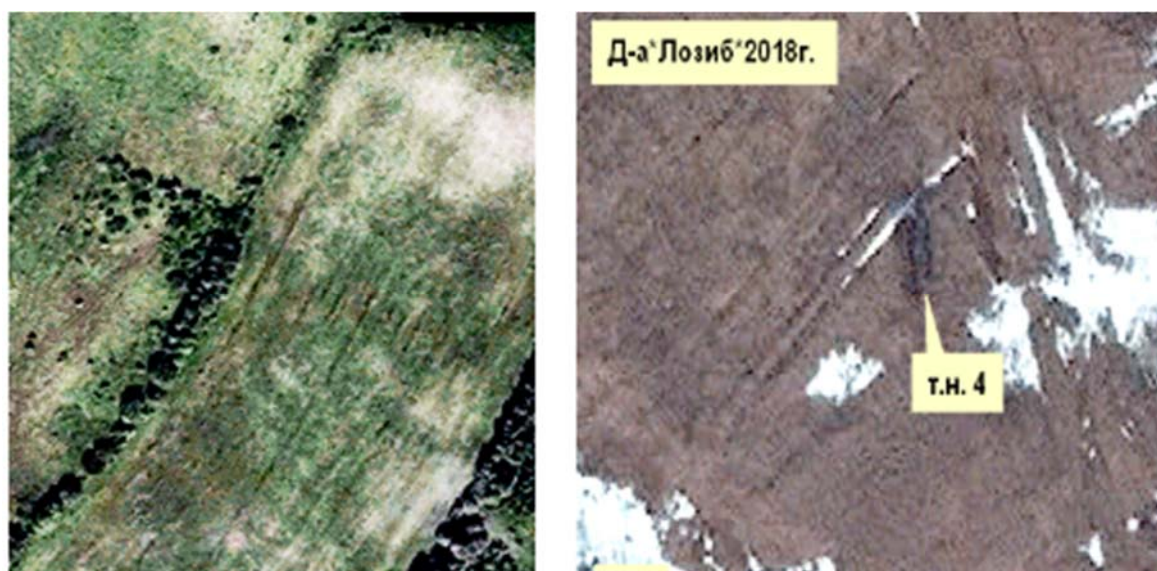


Рис 2. Космоснимок более крупного масштаба

Непосредственно южнее объекта «Нюба» отдешифрированы ландшафтные аномалии (диатремы?) «Нюба 2» и «Гора Буркова». По строению фото рисунка и вертикального профиля они выглядят как невысокие холмы высотой до 20 м со ступенчатыми склонами (рис. 3).

Южнее диатремы «Лозиб» на протяжении 8 км при дешифрировании космоснимков выделены 3 ландшафтные аномалии (рис. 3) по внешним признакам аналогичные «Лекминской» и «Сюзьвенской» диатремам (2).

Ландшафтные фотоаномалии этих объектов аналогичны диатреме «Лекминская» (2) наблюдаются южнее объекта «Лозиб». Они значительно меньше объектов, описанных выше, и имеют размеры от 160 до 300 м. Объекты «Кын» и «Кын 3» по форме напоминают блюдцеобразные понижения глубиной 1 и 3 м соответственно. «Кын 2» имеет изометричную форму и возвышается над окружающим ландшафтом на высоту до 1 м. Все Кынские объекты выделяются

на космоснимках не только за счет внешней формы, но и по характеру растительности, которая характерна для «сухих» болот, где наблюдается мелколесье, представленное хвойными породами деревьев. Хорошие результаты при изучении выделенных объектов может дать геофизический метод в модификации АМТЗ (аудио-магнитно-теллурический метод зондирования) (3) и магнитометрические работы.

В работе за февраль 2018 года (3) рассматривался вопрос о палеовулкане «Созимский». Объект, подобный ему, впервые найден на территории Кировской области и заслуживает особого внимания геологов.

Автор работы благодарен Ф.А. Курбацкой и Владимиру Смирнову за большую помощь в изучении каменного материала по объекту «Лозиб».

Краткое петрографическое описание пород по объекту «Лозиб» (сборы Л.П. Нельзина, 2018)

Для изучения предоставлены 12 шлифов, из них 5 на эпоксидке с покровными стеклами и 7 непокрытых.

Визуально породы различаются цветом: одни имеют коричневую окраску, другие серую. Коричневые породы имеют шлаковидный облик, пористые, легко крошатся и состоят из разной по величине (от 1 мм до 10 и более мм) обломков. В шлифах (16 А, Б, В, 16 А-1, 16 Б-1, 16 В-1, 2) установлено, что они содержат ювенильные и аккреционные лапилли, откуда получили название лапиллиевых туфов.

Лапиллиевые туфы

Ювенильные лапилли имеют округлую, амебовидную, каплевидную, иногда неправильную форму с извилистыми очертаниями (рис. 4,5). Включения в лапиллях обычно немногочисленные. Чаще других встречаются гипидиоморфной формы зерна, замещенные зеленым и буроватым хлоритом по оливину. Цемент в лапиллях либо стекловатый прозрачный с тонкой «пылью» черных частиц, изотропный в + николях, либо слюдистый, состоящий из мелких чешуек бурой слюдки, либо мутный с тeneвыми угловатыми частицами, похожими на пепел (рис. 6, 7, 8). Лапилли нередко имеют зонарное строение и темную внешнюю зону закалки, характерную для вулканических образований (рис. 5). В качестве примесей, очевидно, захваченных при извержении, в породах присутствуют осколочные и корродированные зерна кварца (рис. 6). Особый интерес представляют округлые, овальные, неправильной формы зерна кварца с «сетчатой» структурой, обусловленной наличием многочисленных, нередко взаимно перпендикулярных трещин, как результата планарных деформаций, возникших в условиях высоких динамических давлений (рис. 7).

Кроме кварца в лапиллях установлены угловатые и окатанные обломки кремней, кое – где с микрофауной, кварцитов, кварцитопесчаников, микропегматитов, единичных зерен микроклина, пироксена, рудных минералов. В шлифе 16-В-2 встречена пластинка обугленной древесины (рис. 7).

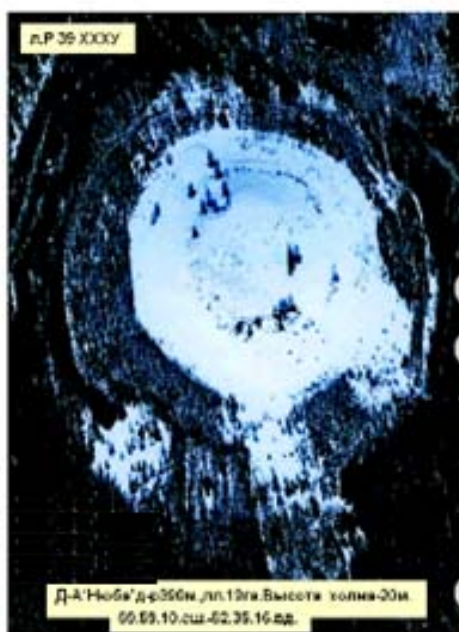
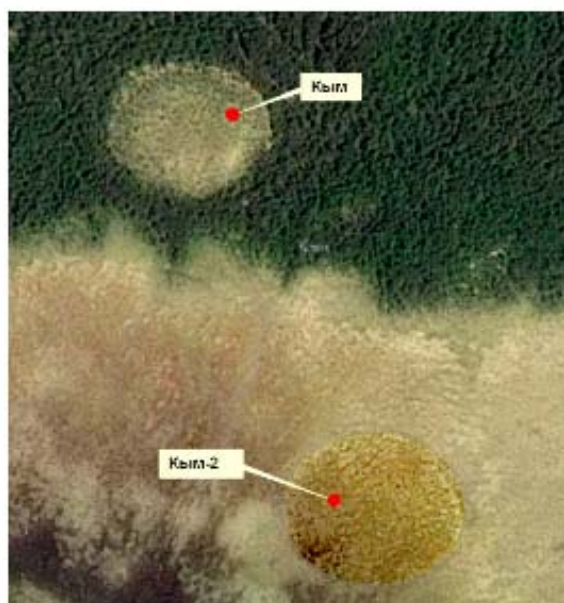


Рис. 3. Ландшафтные аномалии

Аккреционные лапилли представлены агрегатными скоплениями зерен лимонита или плотными овальными образованиями, красно-бурыми в отраженном свете (рис. 8).

Таким образом, к достоверным признакам эксплозивной природы описанных пород можно отнести следующие: присутствие ювенильных лапиллей, зоны закали (и окисления) у многих из них, зонарное строение со стекловатым центром, классическая каплевидная форма некоторых, присутствие «сетчатого» кварца.

Глауконито-фосфатные породы

Макроскопические эти породы имеют в сколах серую окраску, а снаружи в корочке выветривания также содержат обломочки. Поэтому из-за малого объема образцов непонятно, что собой представляют описываемые породы (обломки, останец вмещающих пород, ксенолит)

В шлифах (рис. 9) видно, что породы сложены комочками коллофана коричневыми и светло-коричневыми в проходящем свете и изотропными в + николях. Главной особенностью пород является присутствие органических остатков в виде сине-зеленых водорослей типа обрубевелл, описанных нами в вендских отложениях Западного Урала. Они выглядят в виде черных сеточек с круглыми ячейками, а в поперечных разрезах окаймляют комочки коллофана по краям перекристаллизованного в светлые каемки апатита. Отмечены и другие формы остатков, таких, например, как на рис. 9.

Постоянным минералом пород является глауконит, образуя слойки, отдельные скопления и зерна. Они выделяются овальной почковидной формой, ярко-зеленой окраской в проходящем свете и характерной точечно-агрегатной поляризацией 1 порядка в + николях (рис. 6, 7). Повышенное содержание калия, по данным химанализов пород, очевидно, связано с глауконитом.

В глауконито-фосфатных породах также встречаются обломки и аккреционные лапилли.

Таким образом, выделены две группы пород – лапиллевые туфы и глауконито-фосфатные породы. Из-за малого количества случайных проб полученные результаты следует считать предварительными. Рекомендуется детальное опробование объекта и геологическое изучение в целом.

В процессе петрографического изучения пород проведено совместное обсуждение с канд. г.-м. наук Л.И. Лукьяновой (ВСЕГЕИ). Особую благодарность выражаем В.А. Смирнову за изготовление ряда шлифов и фото всех шлифов.

Работа проведена по личной инициативе Л.П. Нельзина на добровольных началах безвозмездно.

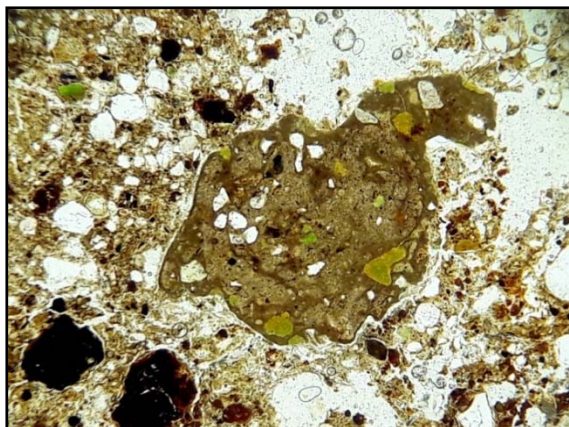


Рис. 4. Шл. 16-А, увеличение 11.5, ник. II

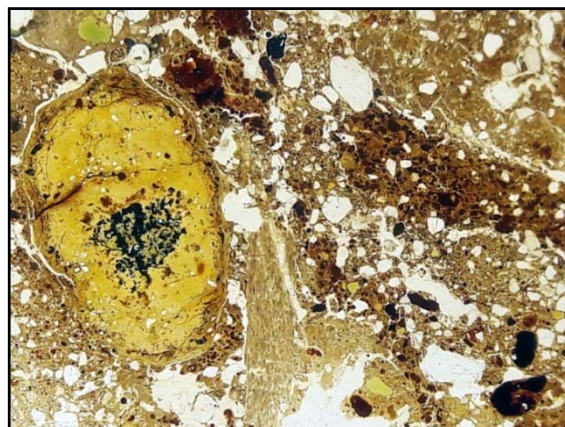


Рис. 5. Шл. 16-В-1, увеличение 6.5, ник. II

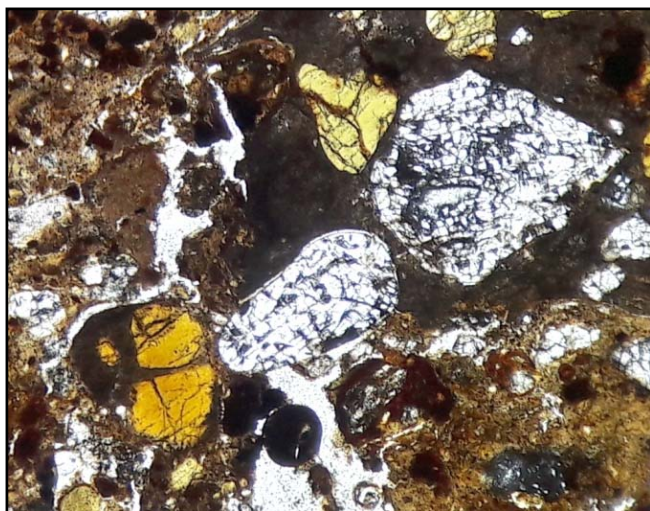


Рис. 6. Шл. 16-A-1, увеличение 35, ник. II

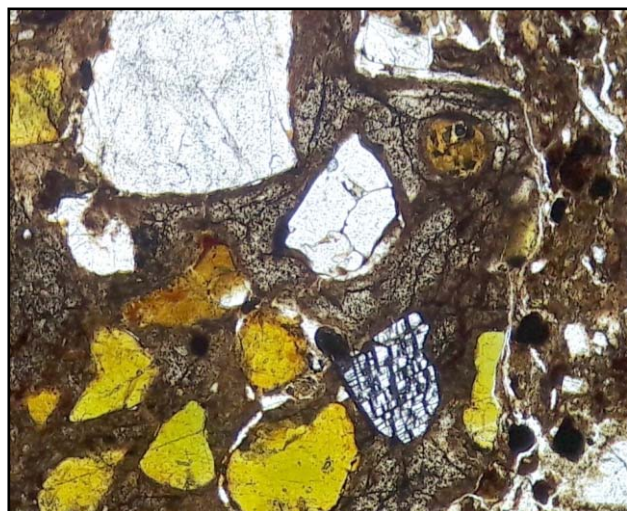


Рис. 7. Шл. 16-B-2, увеличение 35, ник. II

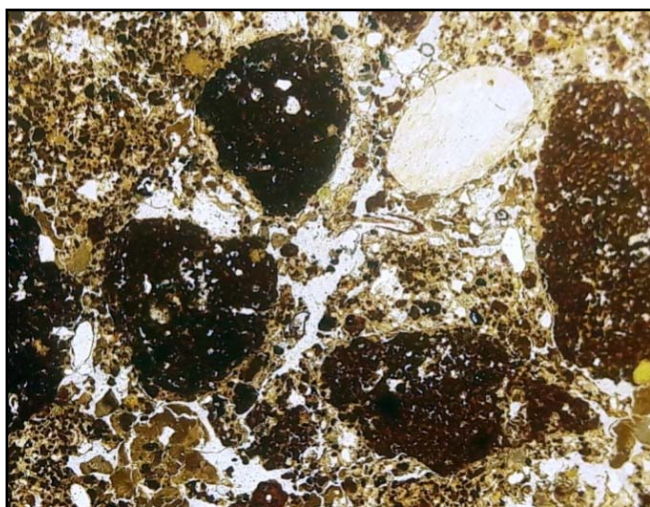


Рис. 8. Шл. 16-A, увеличение 6.5, ник. II

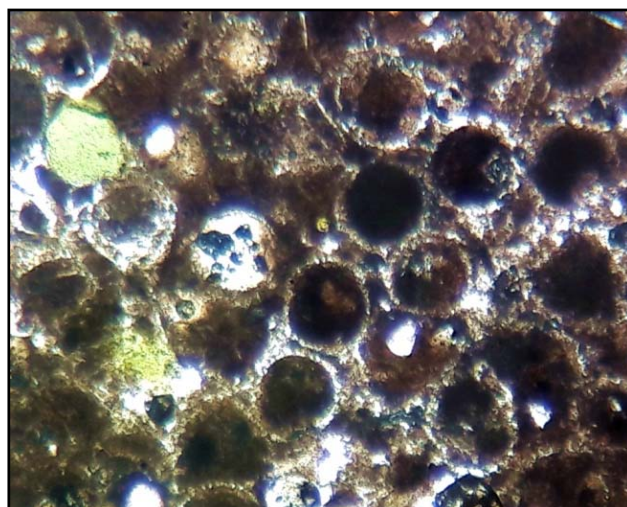


Рис. 9. Шл. 17-Г-1, увеличение 61 ник. II

Библиографический список:

1. Нельзин Л. П. Контрастная ландшафтная аномалия «Лозиб» над предполагаемой диатремой лампроитов. // Геология и полезные ископаемые Западного Урала: сб. науч. ст. Перм. гос. нач. исслед. ун-т. Пермь, 2018. Вып. 38. с. 71–75.
2. Нельзин Л. П. Первые находки алмазов в бассейне р. Вятки // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении. Научные чтения памяти П.Н. Червинского; Перм. гос. нач. исслед. ун-т; Горный ин-т. УрО РАН. Пермь, 2018. Вып. 21. с. 306–309.
3. Нельзин Л. П., Булдаков М. В., Цыганок П. В., Лемешко А. П., Дружинин Г. В. Освоение и результаты опробования метода АМТЗ при поиске первоисточников алмазов в условиях Западно-Уральского региона. // Проблемы минералогии петрографии и металлогении; сборник Перм. ун-т, 2005.

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ НЕОТЕКТониКИ НА ЛЕСНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ И НА ОРИЕНТАЦИЮ СЕТЕЙ ИЗ МАЛЫХ ГЕОАКТИВНЫХ ЗОН

Исследования проводились методами пространственного и геоструктурного анализа на площади 300 км² с выделением геодинамических активных зон в заповеднике «Вишерский» и в долине р. Кама в лесах г. Перми. Для определения мест, влияющих на структуру фитоценозов, использовали биолокацию и находили малые геоактивные зоны (МГА-зоны) с диаметрами 1 и 8 м, с прокладкой пяти треков из них на расстояние до 120 м в заповеднике. В лесах г. Перми картирование было детальнее, с нанесением на план 735 деревьев сосны в массиве площадью 2.2 га и МГА-зон для пяти типов. Оказалось, что эти зоны определяют локализацию большинства крупных деревьев и их биогрупп, а также кольцевых образований из папоротника и чемерицы в подгольцовом поясе. Обнаружено сопряжение МГА-зон диапазона 8.0 м с направлением главных региональных линеаментов дизъюнктивной тектоники, тогда как ориентацию сети из МГА-зон диапазона 1.0 м определяет, по-видимому, направление подчиненных линеаментов меньшей протяженности. Впервые установлено, что диаметры малых геоактивных зон удовлетворительно соответствуют бесконечному ряду чисел Фибоначчи, за исключением зон диапазона 21 м, которые пока не фиксируются, возможно, из-за их слабого влияния на биоту или иных особенностей. Обнаружено также, что МГА-зоны двух типов с диаметрами 8.0 м и 1.0 м образуют сети и в заповеднике «Вишерский» их ориентация совпадает, однако вблизи г. Пермь ориентация сторон ячеек этих сетей отличается на 30-70°. Различия обнаружены впервые; по-видимому, они обусловлены разным направлением линеаментов зонального уровня, которое в заповеднике в основном меридиональное, а вблизи г. Пермь – диагональное.

Ключевые слова: неотектоника, геоактивные зоны, фитоценозы, структура, экосистемы.

EVALUATION OF THE INFLUENCE OF NEOTECTONICS ON FOREST ECOSYSTEMS AND ON THE ORIENTATION OF THE NETWORKS OF SMALL GEOACTIVE ZONES

The research was carried out by methods of spatial and geostructural analysis on the area of 300 km² with the allocation of geodynamic active zones in the reserve "Vishersky" and in the valley of the Kama river in the forests of Perm. To determine the places that affect the structure of phytocenoses, biolocation was used and small geoactive zones (SGA-zones) with diameters of 1 and 8 m were found, with the laying of five tracks of them at a distance of up to 120 m in the reserve. In the forests of Perm, mapping was more detailed, with 735 pine trees in an array of 2.2 hectares and SGA-zones for five types applied to the plan. It turned out that these zones determine the localization of most large trees and their biogroups, as well as ring

formations of fern and *Veratrum Lobelia* in the sub-Holtz zone. Discovered pair SGA-zones range 8.0 m with the direction of the main lineaments of regional disjunctive tectonics, whereas the orientation of the network of SGA-zones range 1.0 m determines, apparently, the direction of subordinate lineament lesser extent. For the first time it is established that the diameters of small geoactive zones satisfactorily correspond to an infinite number of Fibonacci numbers, except for the zones of the range of 21 m, which are not fixed yet, perhaps due to their weak influence on the biota or other features. It was also found that SGA-zones of two types with diameters of 8.0 m and 1.0 m form networks and their orientation coincides in the reserve "Vishersky", but near Perm the orientation of the sides of the cells of these networks differs by 30-70°. The differences were found for the first time; apparently, they are due to the different direction of the lineaments of the zonal level, which in the reserve is mainly meridional, and near Perm is diagonal.

Key words: neotectonics, geoactive zones, tree stand, phytocenotic structures, ecosystems.

Биологический аспект геодинамической активности в научной литературе освещен крайне слабо. В последней нашей работе, где изучались территории в пределах заповедника «Вишерский» на склонах г. Мунин-Тумп и хребта Лопьинский Камень, в долине реки Вишеры и ее притоков р. Лопья и ручья Муравей мы показали (Рогозин и др., 2018), что малые геоактивные зоны (МГА-зоны), влияющие на биоту, подразделяются на несколько типов, имеющих четко ограниченные размеры в виде кругов с диаметрами от 1 до 55 м. Эти зоны мигрируют в течение года на расстояние от долей метра до 1-2 м, и амплитуда их миграции зависит от геодинамической активности обширных территорий. Там, где эта активность выше, наблюдается и большая амплитуда их миграции (Рогозин, 2016). Предполагалось, что там, где миграция МГА-зон в течение нескольких месяцев наблюдений будет наибольшей, там и будут проходить осевые зоны трещинно-разрывных структур. В таком аспекте изучаемый вопрос находится на стыке естественных наук и обладает всеми признаками новизны. В полной мере прояснить этот вопрос пока не удалось из-за удаленности объектов и малого периода наблюдений за ними. Однако выбор ключевых точек позволил обнаружить сопряжение треков с плотностью и простираем прямолинейных и дугообразных линеаментов дизъюнктивной тектоники, о чем мы скажем более подробно при сравнении новых данных с уже имеющимися при обсуждении результатов.

В настоящей работе продолжено изучение выявленного сопряжения двух типов зон диапазона 8.0 м и 1.0 м с простираем прямолинейных линеаментов дизъюнктивной тектоники в лесах юго-западнее г. Пермь. Здесь картирование деревьев было более детальным. На план были нанесены 735 деревьев и МГА-зоны для пяти типов их сетей в лесном массиве площадью 2.2 га, расположенном на второй надпойменной террасе р. Кама. Работы по картированию на этом объекте продолжались два года. Однако в настоящей работе проведен анализ данных только для двух типов этих сетей, в их сравнении с данными в заповеднике.

В соответствии с ориентировкой крупных блоковых структур Русской платформы и Уральской складчатой области выделяются два основных направления линеаментов. Наиболее четко на космоснимках выражена сеть северо-западных

и северо-восточных линеаментов, реже отмечаются линеаменты меридионального и широтного направления. На отдельных участках долины р. Вишера была отмечена заметная концентрация линеаментов с образованием зон сгущения. В двух таких местах как раз и были заложены треки 1, 2, 3 и треки 4, 5 (рис. 1).

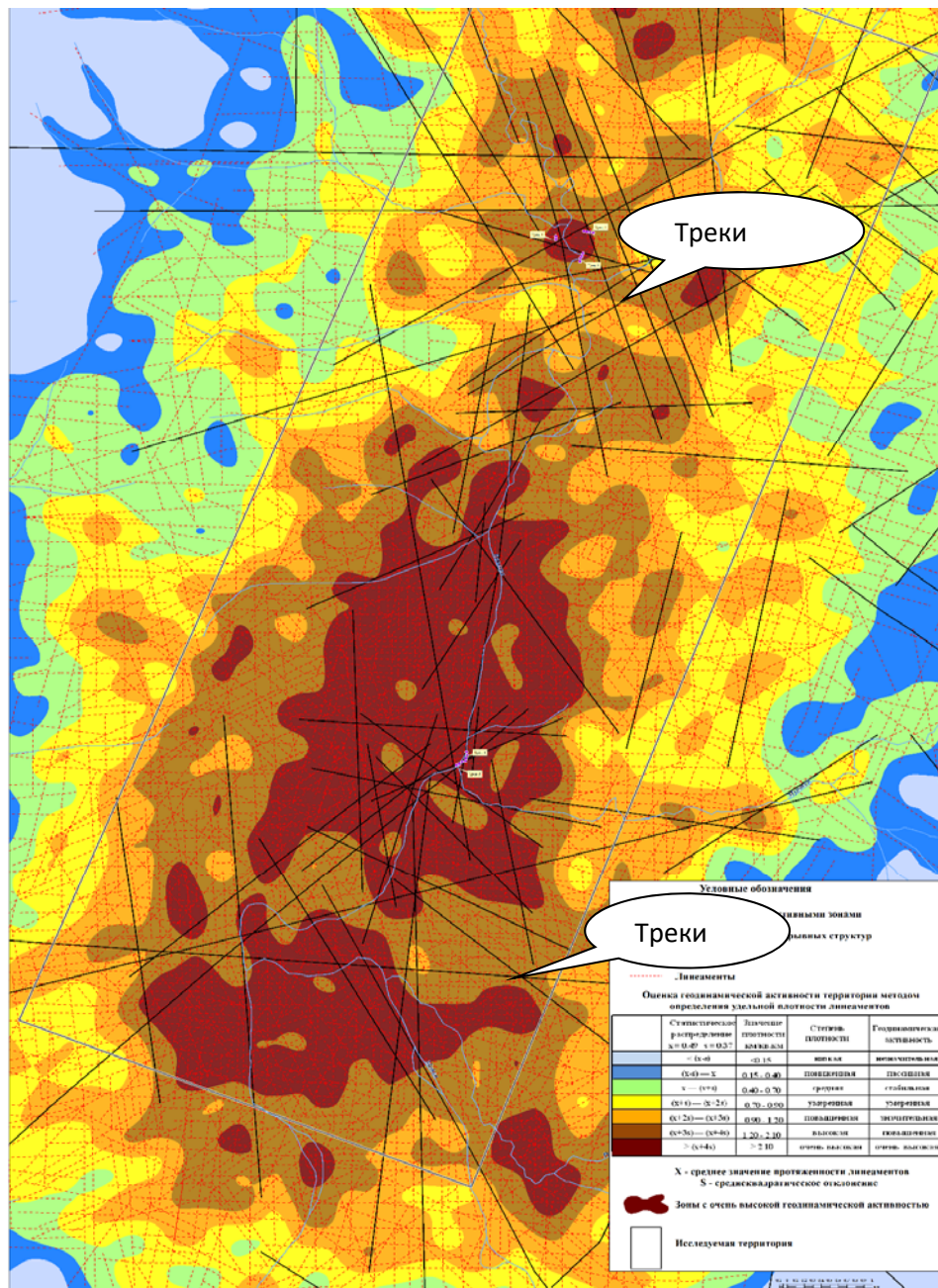


Рис. 1. Трещинно-разрывные структуры и их плотность в районе реки Лопья (треки 1, 2, 3) и ручья Муравей (треки 4, 5)

Подобная схема была составлена и для территории юго-западнее г. Пермь, которая находится между микрорайонами Закамск и Новый Крым и южнее промышленной зоны предприятия «ТЭЦ-14» (рис. 2).

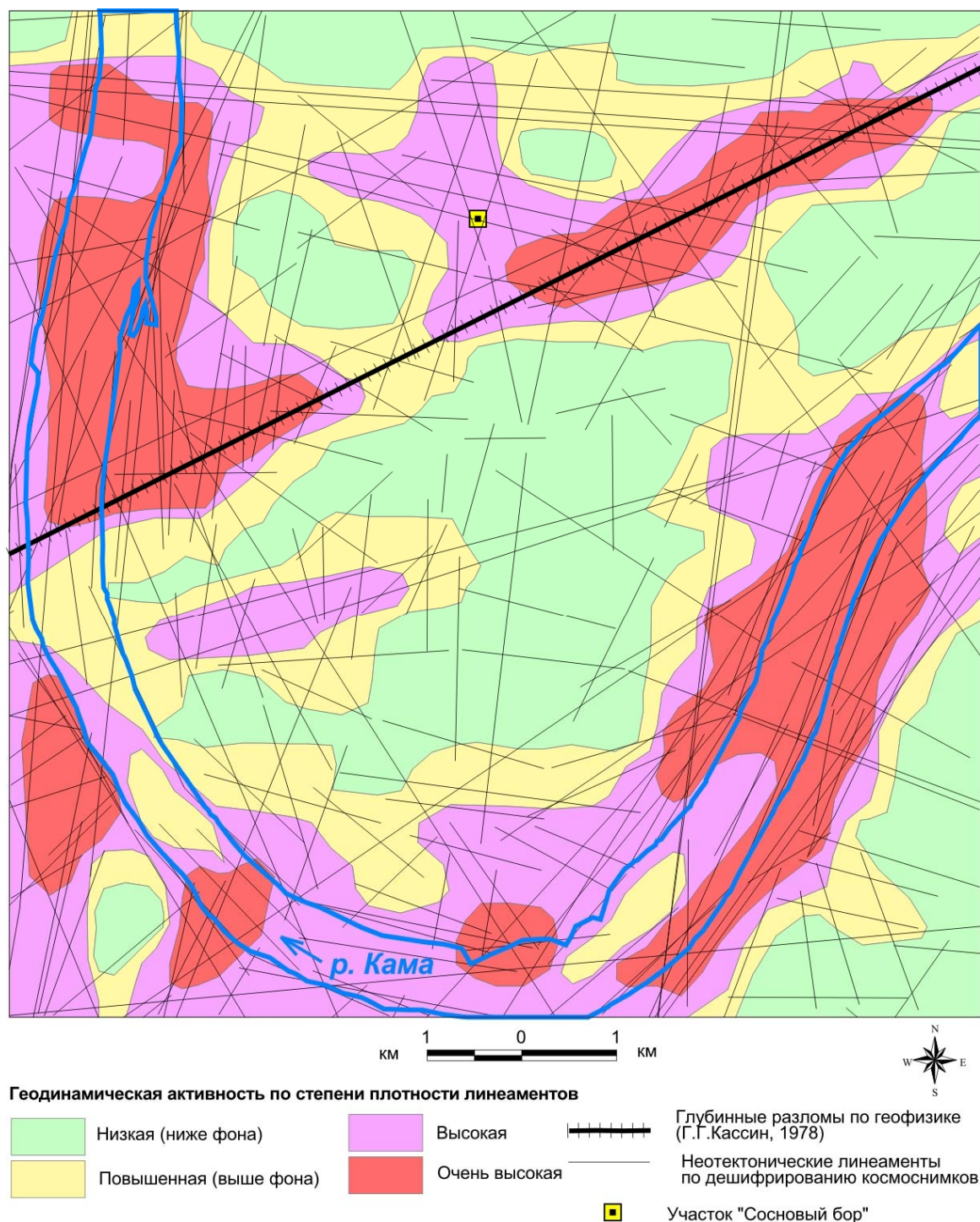


Рис. 2. Геодинамическая активность (по плотности линеаментов) на юго-западе г. Пермь

Анализ прежних данных (Рогозин и др., 2018) показал, что в заповеднике «Вишерский» для сетей МГА-зон есть одна особенность – полосы-цепи из зон 1.0 м как бы «обвивали» трек из зон 8.0 м. Такое совпадение общей ориентации этих сетей, обнаруженное в заповеднике, оказалось своего рода феноменом. Дело в том, что в других местах Пермского края такого совпадения не наблюдалось, например, в Ильинском районе (Рогозин, 2016).

Ниже показана ориентация этих двух сетей вблизи г. Пермь на песчаной террасе в долине р. Кама, в сосновом древостое, имеющем возраст 184 года. Схема этих сетей из МГА-зон на участке, названном участок «Сосновый бор», показана ниже (рис. 3).

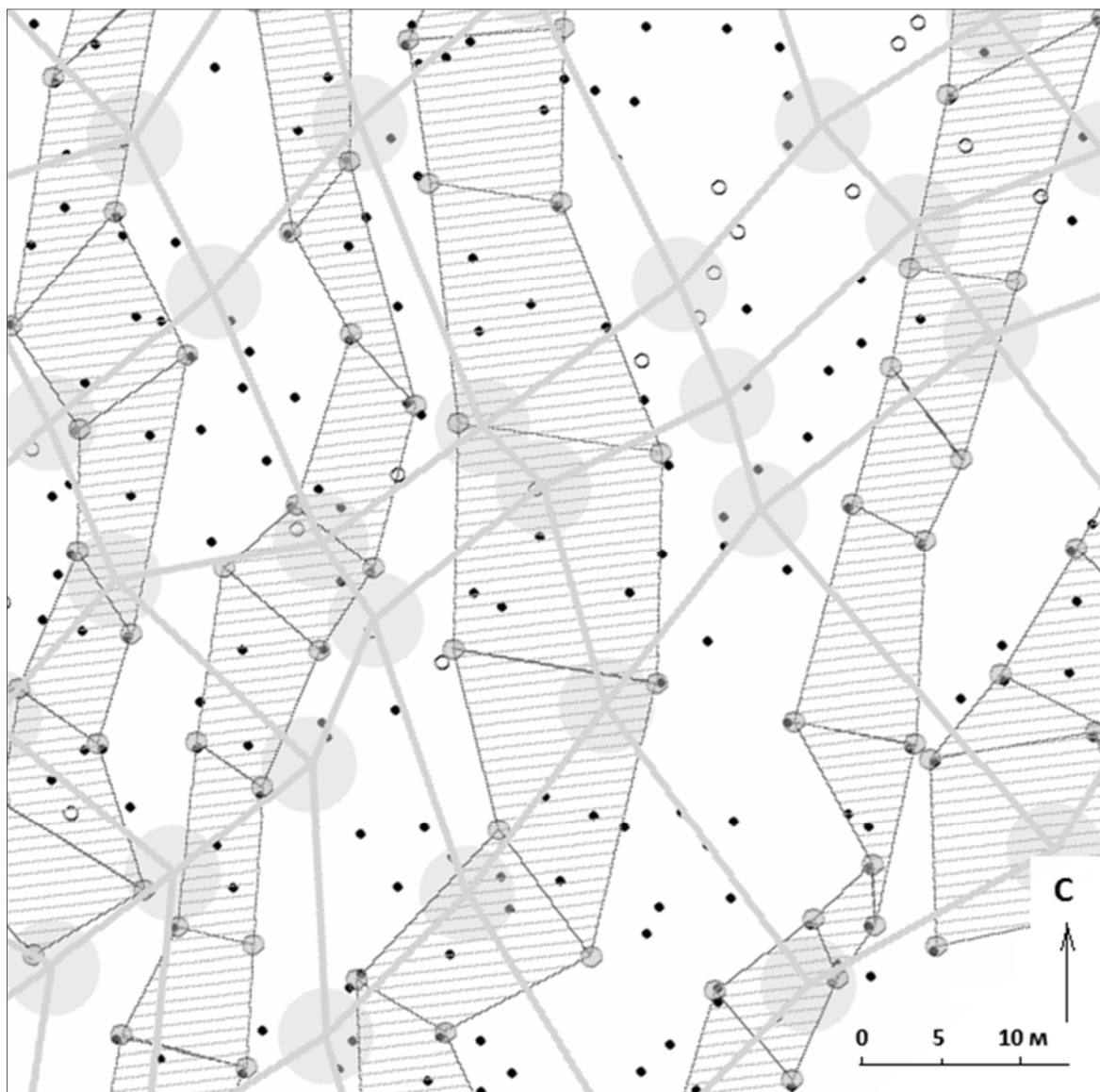


Рис. 3. Участок «Сосновый бор» с биолокацией сетей, образованных МГА-зонами двух типов: диапазона 1.0 м (кружки и полосы-цепи) и диапазона 8.0 м (большие круги и серые линии). Черные точки – живые, овалы – вываленные деревья сосны. Территория вблизи г. Пермь в долине р. Кама, координаты центра N58°00'45.1'' E55°52'44.3''. Размер территории 75 × 75 м.

Вполне очевидно, что цепи (полосы) из зон 1.0 имеют здесь четко выраженное северное направление, а стороны ячеек в сети из зон 8.0 м – северо-восточное и северо-западное, с различиями в их общей ориентации с первой сетью от 30 до 70°. Похожая картина имела место и в Ильинском районе, в 4 км к северу от п. Васильевское (70 км от г. Перми на северо-запад), где мы проводили детальное картирование таких зон на площади 0.62 га (Рогозин, 2016, с. 89, с. 91).

Чем вызвано такое несовпадение направлений изучаемых сетей пока ясно не до конца, но различия с территорией заповедника «Вишерский» оказались весьма значительны – там полосы-цепи из зон 1.0 м практически совпадали с треками из зон 8.0 м. На рисунке 3 такого явления нет, если проложить по зонам 8.0 м линейные треки по сторонам ячеек этой сети, идущих в северо-

восточном направлении (см. рис. 3) и игнорировать «лучи» этой сети, идущие в северо-западном направлении, как это было сделано в заповеднике из-за дефицита времени, когда всю сеть для зон 8.0 м мы не выстраивали, а последовательно соединяли зоны, идущие в одном направлении, которое и называли «треком» (рис. 4).

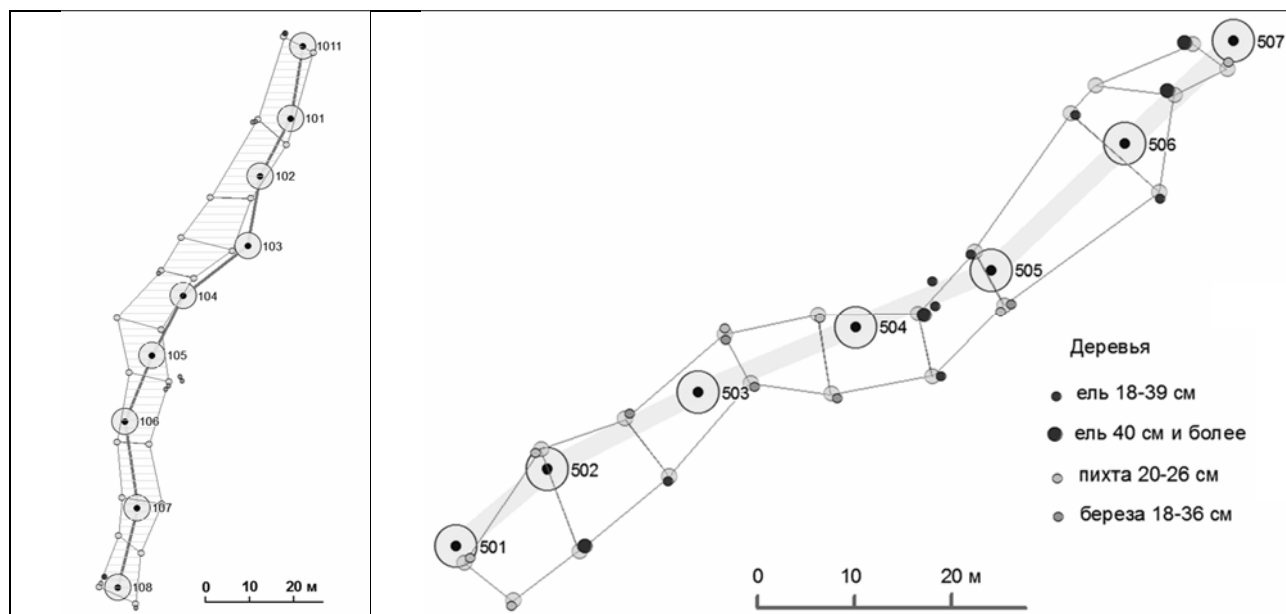


Рис. 4. Треки 1 и 5 в заповеднике «Вишерский», с последовательным соединением идущих в одном направлении МГА-зон диаметром 8.0 м с их нумерацией (часть сети, состоящей из этих зон) и полосы-цепи из зон диаметром 1.0 м.

Все эти обнаруженные различия требуют дополнительного изучения. Пока же вполне очевидно, что вблизи г. Пермь ориентация этих двух типов сетей из МГА-зон совершенно не совпадает, в отличие от их совпадения в заповеднике «Вишерский».

Сравниваемые участки (см. рис. 1 и 2) находятся в зонах повышенной геодинамической активности с локальными участками пониженной активности. Вполне возможно, что различия в ориентации МГА-зон обусловлены мозаичной структурой геодинамического поля и влиянием региональных и зональных линеаментов (Копылов, 2011, 2012). В заповеднике главными являются региональные линеаменты и они имеют меридиональное («уральское») направление, а зональные направлены по диагонали к ним. Однако вблизи г. Пермь (особенно на западе) – наоборот, главной является диагональная система, а ортогональная система имеет подчиненное значение.

При этом по долине р. Камы проходит один из крупнейших региональных тектонических разломов северо-восточного направления, установленный по геофизическим данным. С его направлением совпадает сторона ячеек сети МГА-зон 8.0 м, также ориентированная на северо-восток (см. рис. 3). Между тем на ориентацию цепей-полос из МГА-зон диаметром 1.0 м здесь могут влиять локальные линеаменты уже другого, меридионального направления (см. рис. 2).

При обсуждении полученных результатов следует отметить, что изученный объем данных, по сути, ничтожен в сравнении с безграничным объемом воз-

можных вариаций расположения малых геоактивных зон и мозаики ячеек их сетей. Поэтому в данной статье мы скорее поставили новые вопросы, чем дали ответы. Резюмируя изложенное выше, можно обозначить перспективы исследований, которые должны быть более обширными. Вполне очевидно, что необходимо увеличить длину треков, чтобы получить достаточные выборки расстояний между зонами и рассчитать их статистики. Тогда можно будет найти отклонения направлений трека и рассчитать их корреляцию с направлением ближнего линеамента. Для этого нужны выборки из 30–40 значений на один трек.

Однако даже имеющийся материал весьма неожиданно для нас позволил выявить целый ряд закономерностей. Так, выбор ключевых точек в местах высокой геодинамической активности в заповеднике «Вишерский» позволил установить явное сопряжение треков, состоящих из малых геоактивных зон, с направлением линеаментов. Сопряжение трека было близко к параллельному, либо он занимал промежуточное положение между двумя близкими линеаментами. Если же трек закладывали поперек линеамента, то его направление было в пределах 75–90°. Такое сопряжение в заповеднике «Вишерский» было найдено для четырех треков из пяти, т.е. в 80 % случаев, причем одновременно для двух типов сетей из МГА-зон 8.0 и 1.0 м диапазонов. Однако вблизи г. Пермь такое сопряжение наблюдается совершенно отдельно для каждого из двух типов сетей: для сети МГА-зон диапазона 8.0 м оно совпадает с главной диагональной системой линеаментов, а подчиненная ей ортогональная система линеаментов ориентирует полосы-цепи из МГА-зон диапазона 1.0 м.

Иерархия малых геоактивных зон включает в себя до 10, а возможно, и более типов их сетей (благоприятных и неблагоприятных), с размерностью от долей метра до десятков метров (Рогозин, 2016), которая оказалась в целом близка к последовательности из ряда чисел Фибоначчи (табл.).

Таблица. Ряд чисел Фибоначчи и диаметры малых геоактивных зон (МГА-зон)

Ряд чисел Фибоначчи	0	1	1	2	3	5	8	13	21	34	55...
Диаметры МГА-зон, м	0,3	1	1	2	3	4,5	8	16	нет	32	55
в том числе: благоприятных, м		1			3	4,5	8	16		32	55
неблагоприятных (Хартмана и Курри), м	0,35		1	2							

Через этот ряд проявляет себя универсальная «Золотая пропорция», которой подчинены буквально все природные системы и их фрактальность (самоподобие), включая развитие галактик. В ряде Фибоначчи отношение старшего числа к младшему, начиная от чисел 55 и 34, стремится к значению, с округлением равному 1.618. «Золотая пропорция» представляет собой фундаментальную константу, но константу не явную, а глубоко скрытую от поверхностных наблюдений. Она лежит в основе многих структур биоты, является геометрическим выражением жизни и не довлеет над другими пропорциями, а присутствует вместе с ними (Шевелев, 2000; Чернов, 2012).

Диаметры малых геоактивных зон примерно соответствуют числовой последовательности ряда чисел Фибоначчи, за исключением МГА-зон диапазона 21 м, которые, возможно, пока временно не фиксируются из-за их пониженной активности, редкой встречаемости или малой значимости для фитоструктур. Например, крупные зоны с диаметрами 32 и 55 м встречаются через десятки и сотни метров, тогда как самые малые расположены через 3–7 метров; кроме того, чисто практический интерес представляют действительно малые зоны диапазона 1–8 м, на которые реагирует большинство видов деревьев, тогда как на зонах 16, 32 и 55 м мы встречали только крупные деревья кедра сибирского (Рогозин и др., 2018).

Изложенное, помимо полной легитимации биолокационного метода, позволяет выйти на совершенно новый уровень исследований, где будет учтено глобальное строение природных систем, подчиняющихся законам «Золотой пропорции». Есть основания полагать, что зафиксированные нами кольцевые фитоструктуры из стеблей чемерицы и папоротника (Рогозин и др., 2018) являются фрагментом правой «Спирали Фибоначчи» при ее зарождении в биоте. Это позволяет, с учетом фрактальности природных структур, предполагать наличие подобных кольцевых (спиральных) образований и в структуре древостоев, где они будут взаимодействовать с более простыми линейными, сетчатыми и иными структурами, образовавшимися под влиянием МГА-зон. Эта идея подразумевает дальнейшее совершенствование методики и интерпретации эффектов МГА-зон.

Выводы

1. Малые геоактивные зоны (МГА-зоны) двух типов с диаметрами 8.0 м и 1.0 м образуют сети и в заповеднике «Вишерский», их ориентация совпадает, однако вблизи г. Перми ориентация сторон ячеек этих сетей отличается на 30–70°. Различия в ориентации этих сетей обнаружены впервые; по-видимому, они обусловлены разным направлением линеаментов зонального уровня, которое в заповеднике в основном меридиональное, а вблизи г. Пермь диагональное.

2. Обнаружено сопряжение МГА-зон диапазона 8.0 м с направлением главных региональных линеаментов, тогда как ориентацию сети из МГА-зон диапазона 1.0 м определяет, по-видимому, направление подчиненных линеаментов меньшей протяженности.

3. Впервые установлено, что диаметры малых геоактивных зон удовлетворительно соответствуют бесконечной числовой последовательности ряда чисел Фибоначчи, за исключением МГА-зон диапазона 21 м, которые пока не фиксируются, возможно, из-за их слабого влияния на биоту или иных особенностей, включая интерференцию с другими зонами.

Благодарности. Авторы благодарят директора заповедника «Вишерский» Павла Николаевича Бахарева за помощь в проведении научных исследований на стыке геологии, математики, философии, ботаники и лесоведения.

Библиографический список:

1. *Копылов И. С.* Теоретические и прикладные аспекты учения о геодинамических активных зонах // Современные проблемы науки и образования. 2011. № 4. https://elibrary.ru/download/elibrary_16985725_73101022.pdf.
2. *Копылов И. С.* Линеаментно-геодинамический анализ Пермского Урала и Приуралья // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 6. https://elibrary.ru/download/elibrary_23220951_76335122.pdf.
3. *Рогозин М. В.* Лесные экосистемы и геобиологические сети. Пермь. ПГНИУ. 2016. 171 с.
4. *Рогозин М. В., Копылов И. С., Красильников П. А.* Биологический аспект геодинамических активных зон // Геология и полезные ископаемые Западного Урала. 2017. № 17. С. 223–227.
5. *Чернов Н. Н.* Биотектоника – методологическая основа изучения форм в живой природе. Екатеринбург: УГЛТУ, 2012. 135 с.
6. *Шевелев И. Ш.* Метаязык живой природы. М.: Воскресенье, 2000. 352 с.
7. *Копылов И. С.* Линеаментно-блоковое строение и геодинамические активные зоны среднего Урала // Вестник Пермского университета. Геология. 2011. № 3. С. 18–32

И. В. Бадьянова

ПГНИУ, kataev7@psu.ru

ОСОБЕННОСТИ ВЕЩЕСТВЕННОГО СОСТАВА ЛИНЕЙНЫХ ПРИКОНТАКТОВЫХ КОР ВЫВЕТРИВАНИЯ ВЕРХНЕРИФЕЙСКИХ ЧЕРНОСЛАНЦЕВЫХ ПОРОД СРЕДНЕГО УРАЛА

На Среднем Урале в пределах Кваркушско-Каменногорского антиклинория широко распространены породы верхнерифейского возраста. Они представлены карбонатными отложениями клыктанской свиты и терригенными углеродистыми федотовской свиты. На тектоническом контакте этих свит в карстовых полостях карбонатных пород формируются инфильтрационные коры выветривания. Особенностью этих кор выветривания является повышенные содержания марганца, никеля, ванадия и самородной платины, что обусловлено присутствием внедрений основных и ультраосновных пород на контакте этих свит.

Ключевые слова: кора выветривания, карст, федотовская и клыктанская свиты, габбро-долериты, изоферроплатина, тетраферроплатина

I. V. Badianova

Perm State University, kataev7@psu.ru

PECULIARITIES OF THE MATERIAL COMPOSITION OF THE NEAR-CONTACT LINEAR WEATHERED ROCKS' OF THE UPPER RIPHEAN BLACK SHALE ROCKS OF THE MIDDLE URALS

In the Middle Urals rocks of Upper Riphean age are widespread within the Kvarkush-Kamennogorsk anticlinorium. They are represented by carbonate sediments of the Klyktan suite and terrigenous carbonaceous rocks of Fedotov suite infiltration weathered rocks are formed on the tectonic contact of these suites in the karst cavities of carbonate rocks. The peculiarity of these rocks is the increased content of manganese, nickel, vanadium and native

platinum, which is caused by the presence of inclusions of basic and ultrabasic rocks on the contact of these formations.

Key words: weathering crust, karst, Fedotovskaya and Klyktan Formations, gabbrodolerites, isoferroplatinum, tetraferroplatinum

На территории западного склона Среднего Урала в пределах Кваркушко-Каменногорского антиклинория широко распространены породы верхнерифейского возраста, по которым развита сеть разрывных нарушений меридионального направления. Часть разломных зон проходит вдоль контактов двух верхнерифейских свит (клыктанской и федотовской). Клыктанская свита сложена карбонатно-терригенными породами, федотовская – черными углистыми сланцами (рис. 1). На контакте карбонатных пород и черных сланцев по разломной зоне сформировались мощные коры выветривания (Бадьянова, 2018). Вдоль разломных зон закартированы многочисленные дайки габбродолеритов и долеритов D₃-C₁ возраста, прорывающие породы клыктанской и федотовской свит и выходящие на поверхность (Блинов и др., 2015).

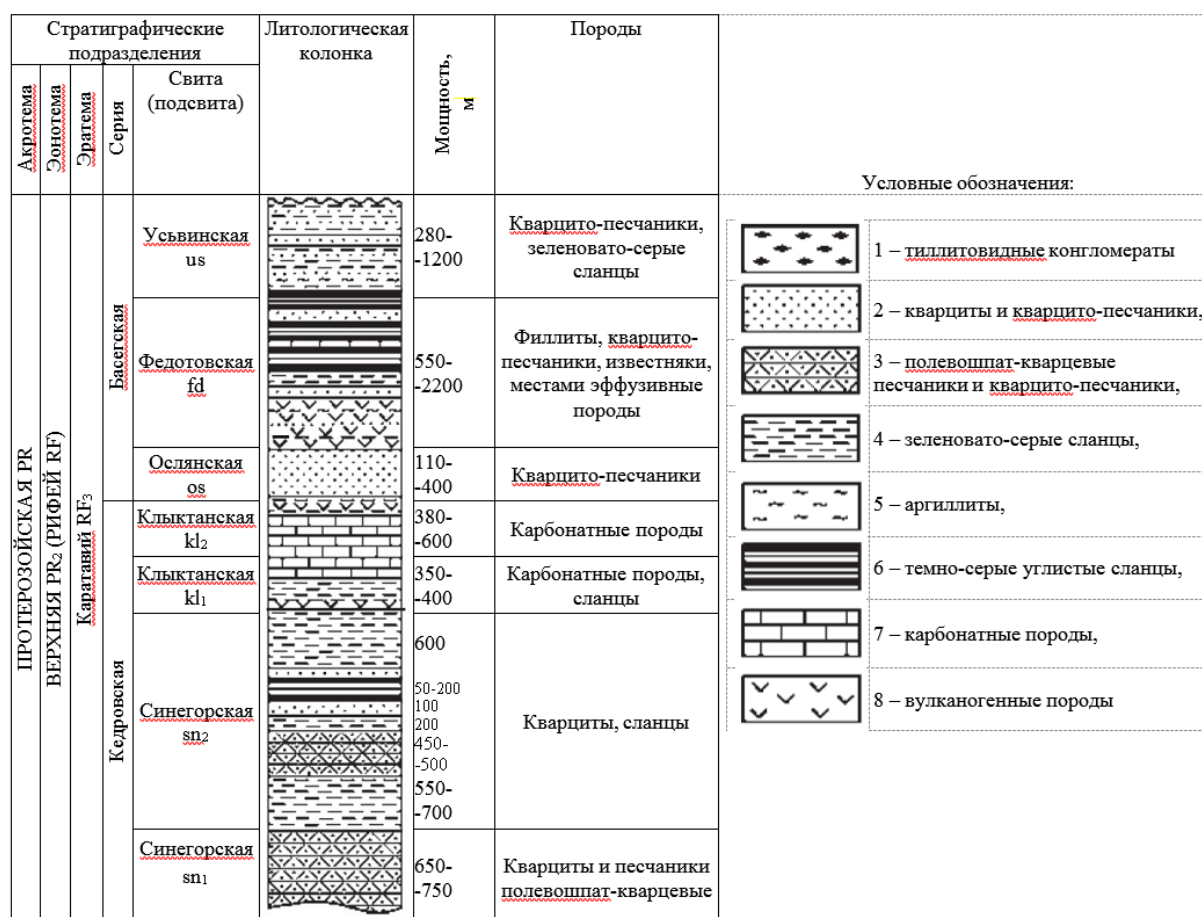


Рис. 1. Стратиграфическая колонка отложений верхнего докембрия территории исследований (Пучков, 2010, Аблизин, 1982, с изменениями автора статьи)

Сотрудниками ОАО «Пермгеолнеруд» во время поисково-разведочных работ 2012 – 2014 гг. бурением были вскрыты полости в карбонатных породах клыктанской свиты предположительно карстового происхождения, заполненные гипергенным материалом.

Литологический состав материала полостей представлен глинистыми переотложенными продуктами коры выветривания от светло-коричневого до темно-коричневого цвета с реликтами ржаво-рыжих обохренных доломитов с темно-фиолетовыми до черного землистыми включениями – Fe-Mn бобовин, а также с щебнем и глыбами (до 10-15 %) доломита. По минеральному и химическому составу кора выветривания отличается от вмещающих карбонатных пород клыкчанской свиты и несет наследственные признаки пород, контактирующих с карбонатной толщей, в частности черных сланцев федотовской свиты.

Минеральный состав черных сланцев федотовской свиты по данным дифрактометрического анализа мусковит-кварцевый, присутствуют также хлорит (до 10 %), плагиоклазы (до 10 %), доломит, рутил, пирротин, пирит, сидерит (до 1-2 %), тяжелая фракция представлена, преимущественно, сульфидами (Бадьянова, 2018). Тяжелая фракция коры выветривания по данным оптико-минералогического анализа состоит из гидрогетита, в среднем около 44,5 %, пиролюзита – 20,8 %, гематита – 16,6 %, магнетита – 3-7 %, ильменита – 3-10 %, лейкоксена – 3 %, брукита – до 1 %, в небольшом количестве присутствуют рутил, пирит, циркон, эпидот, пироксены (табл. 1). Пиролюзит в составе тяжелой фракции коры выветривания может быть продуктом выветривания изверженных пород ультраосновного и основного состава. Сотрудники ОАО «Пермгеолнеруд» во время работ 2012 – 2014 гг. также предполагали присутствие на глубине габбро-сиенитового комплекса пород.

Таблица 1. Минеральный состав тяжелой фракции коры выветривания карстовых полостей карбонатных пород клыкчанской свиты, %

Глубина отбора, м	Обломки сланца	Магнетит	Гематит	Ильменит	Гидрогетит	Пиролюзит	Гр. эпидота	Гр. пироксенов	Гр. гранатов	Гр. амфиболов	Циркон	Рутил	Моноцит	Брукит	Лейкоксен	Пирит	Доломит анкерит	Сфен	Сумма
15,5-16,5	1,2	5,9	38,8	3,5	17,6	23,5	3,5	0,0	0,0	0,0	0,0	1,2	0,0	0,6	2,4	1,2	0,0	0,6	100
16,5-18,5	-	3,0	15,2	8,1	44,5	22,2	2,5	-	0,2	-	0,3	0,5		0,5	3,0	-	-	-	100
18,5-20,5	0,5	3,2	12,6	3,2	39,1	31,4	-	-	-	-	0,1	0,3		3,2	5,3	-	1,1	-	100
20,5-21,5	0,3	3,1	10,3	0,5	58,0	20,6	-	-	-	-	0,3	0,1		0,5	6,2	-	0,1	-	100
21,5-23,5	5,0	-	5,0	-	63,3	20,1	-	-			0,5	-		1,0	5,0	-	0,1		100
23,5-25,3	0,1	1,0	5,1	-	70,0	18,2	-	-	-	-	0,3	0,2	0,1	2,0	3,0	-	-	-	100
25,3-27,4	0,5	1,0	15,1	-	55,3	23,1	0,5	-	-	-	0,3	0,1	0,1	1,0	3,0	-	-	-	100
27,4-28,2	-	5,3	18,9	3,2	52,5	8,4	5,3	0,5	0,3	-	1,1	1,1	0,2	1,1	2,1	-	-	-	100
40,3-42,5	-	6,5	10,8	-	66,6	8,6	1,1	-	-	-	0,1	0,1		0,3	0,5	-	5,4	-	100
42,5-46,0	-	1,0	10,1	10,1	48,5	25,1	-	-	-	-	0,7	0,5		1,0	3,0	-	-	-	100
46,0-49,0	-	5,2	39,7	5,2	10,3	30,9	3,1	-	-	-	-	0,5		1,0	3,1	1,0	-	-	100
49,0-52,0	-	7,2	35,8	3,1	13,4	30,9	1,0	0,5	0,3	0,5	-	0,1		4,1	3,1	-	-	-	100
52,0-54,0	1,0	3,0	10,1	-	56,8	16,2	0,5	0,3			0,5	0,5		3,0	3,0	5,1	-		100

Примечание: отдельные знаки киновари встречены на глубине 23,5-25,3 м и 27,4-28,2 м.

По химическому составу кора выветривания схожа с составом черных сланцев (табл. 2), однако отмечается несколько повышенное содержание оксида марганца. По содержанию малых элементов в коре выветривания отмечается повышенное содержание ванадия, никеля и хрома, не характерное для черных сланцев данной территории (табл. 3). Таким образом, кора выветривания в полостях карбонатных пород может являться продуктом разрушения пород ультраосновного и основного состава, в частности дайки габбро-долеритов, широко распространенных на данной территории. Из литературных источников известно, что месторождения марганца, ванадия и никеля на Урале приурочены к зонам внедрения интрузий ультраосновного и основного состава (Смирнов, 1974).

Большую роль в сохранности фрагментов этой коры выветривания играли карстовые процессы. Карст является механическим барьером на пути перемещающегося разрушенного выветриванием материала горных пород. Обломочный материал, захороненный в карстовых полостях, менее уязвим для последующего размыва (Баранников, 2012). Развитие карстовых полостей и их локализация происходит в соответствии с определенными закономерностями и особенностями геологического строения и гидродинамическими условиями района. Карстогенный материал, соответственно, бывает различного состава (Ляхницкий, 2014). На территории Южного Урала открыты месторождения гипергенных полезных ископаемых, таких как бокситы, железные бобовые руды и др., местом накопления которых были карстовые воронки (Рыцев, 2009). Существует также альтернативная гипотеза формирования полостей в карбонатных породах – активное участие интрузивных тел щелочно-основного состава, которые разрушаются при выветривании, оставляя полости, заполненные глинистым материалом (Смирнов, 2013).

Таблица 2. Химический состав коры выветривания карстовых полостей в разрезе карбонатных пород клыктанской свиты и контактирующих с ней пород, мас. %

Глубина отбора, м	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	SO ₃	ппп	Сумма
Кора выветривания													
21,5-23,5	69,32	0,51	12,46	9,14	1,04	0,22	0,93	0,44	2,91	0,24	0,02	2,78	100,01
46,0-49,0	66,55	0,51	12,46	9,56	0,9	1,21	1,37	0,47	2,87	0,27	0,02	3,83	100,02
Карбонатные породы клыктанской свиты													
72,3-73,6	5,35	0,07	0,59	0,69	0,03	31,64	19,79	0,02	0,02	0,03	0,04	41,72	99,99
113,0-114,0	5,49	0,03	0,66	0,5	0,04	37,7	14,3	0	0,12	0,03	0,05	41,06	99,98
125,0-126,0	4,68	0,02	0,3	0,21	0,01	46,52	8,91	0	0,01	0,02	0,05	39,26	99,99
Черные сланцы федотовской свиты*													
-	66,03	0,83	16,74	6,23	0,01	0,04	1,34	1,47	3,92	0,15	0,10	5,01	101,87
Габбродолериты**													
-	45,43	0,82	11,77	12,45	0,19	8,39	12,10	1,74	0,82	0,16	0,01	6,00	99,88

Примечание: *(Бадьянова, 2018), **дайка габбродолеритов водораздела рек Койва и Березовка (Блинов и др., 2015)

Таблица 3. Содержание малых элементов в коре выветривания карстовых полостей в разрезе карбонатных пород клыкчанской свиты и в контактирующих с ней породах, ppm

Глубина отбора, м	Sc	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	As	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Sn	Sb	Cs	Ba	La	Ce	Pb	Th	U
Карбонатные породы клыкчанской свиты *																								
7,0-15,5	0	6	0	0	2	3	11	0	4	1	49	5	13	2	1	5	6	0	0	0	4	2	0	0
Кора выветривания																								
15,5-16,5	23	121	38	61	144	119	473	15	14	78	34	223	136	15	0	5	7	9	665	148	217	22	2	1
16,5-18,5	17	111	24	95	131	137	490	13	12	77	30	159	116	10	0	8	11	7	804	63	154	21	0	1
18,5-20,5	10	57	36	42	60	79	197	5	9	26	20	67	56	5	0	6	7	4	450	41	84	5	0	0
20,5-21,5	15	78	16	49	72	72	245	8	12	43	19	89	79	7	0	9	10	7	567	54	112	8	0	0
21,5-23,5	11	62	11	58	74	65	219	7	13	37	20	87	68	6	0	7	9	6	635	66	94	8	0	0
23,5-25,3	16	87	22	65	113	109	397	10	13	58	27	167	96	8	0	5	9	16	664	96	123	14	0	0
27,4-28,5	18	77	20	37	84	61	290	10	10	46	27	110	113	18	0	8	7	9	393	106	158	11	0	0
Карбонатные породы клыкчанской свиты **																								
28,2-40,3	0	14	0	0	4	4	13	1	4	7	68	6	19	3	1	5	6	0	6	0	8	3	0	0
Кора выветривания																								
40,3-42,5	11	78	19	47	97	66	320	9	13	49	36	102	84	8	0	6	9	3	520	62	81	11	0	0
42,5-46,0	9	76	169	69	100	64	309	8	12	46	34	106	84	7	0	6	10	8	737	72	98	12	0	0
46,0-49,0	14	74	24	50	91	58	281	8	12	40	25	89	75	7	0	7	9	6	598	72	86	8	0	0
49,0-52,0	7	64	339	38	64	47	208	6	9	29	29	91	62	5	0	7	9	5	706	52	80	7	0	0
52,0-54,0	10	60	13	30	74	48	241	6	10	31	29	165	69	8	0	6	9	7	609	76	84	11	0	0
Карбонатные породы клыкчанской свиты ***																								
54,0-168,0	0	7	0	0	2	3	11	1	4	2	49	5	15	2	1	4	5	0	0	0	4	3	0	0
Черные сланцы федотовской свиты****																								
-	10	49	90	6	29	22	54	15	9	93	139	20	209	21	0	7	7	5	505	32	62	10	3	1
Габбродолериты*****																								
-	-	300	700	-	200	60	90	<10	-	30	410	-	100	10	-	-	-	-	200	<10	-	10	-	-

Примечание: * – среднее содержание по 6 пробам, ** – среднее содержание по 6 пробам, *** – среднее содержание по 20 пробам, **** – среднее содержание по 100 пробам, ***** – дайка габбродолеритов водораздела рек Койва и Березовка (Блинов и др., 2015)

Одной из характерных особенностей изученных кор выветривания является присутствие платиновой минерализации, обнаруженной Суловым С.Б. в 2012 году (рис. 2). По химическому составу платина представлена двумя разновидностями (аналитик Осовецкий Б.М.): изоферроплатиной – с содержанием железа 8-10 % и тетраферроплатиной – с содержанием железа более 10 % (рис. 3). При детальном исследовании поверхности зерен платиноидов Осовецким Б.М. были обнаружены в углублениях поверхности пленки темного и красновато-бурого цвета. В составе пленок присутствуют гидроксиды и оксиды железа, микрочастицы самородного золота, интерметаллидов золота, свинца и др.

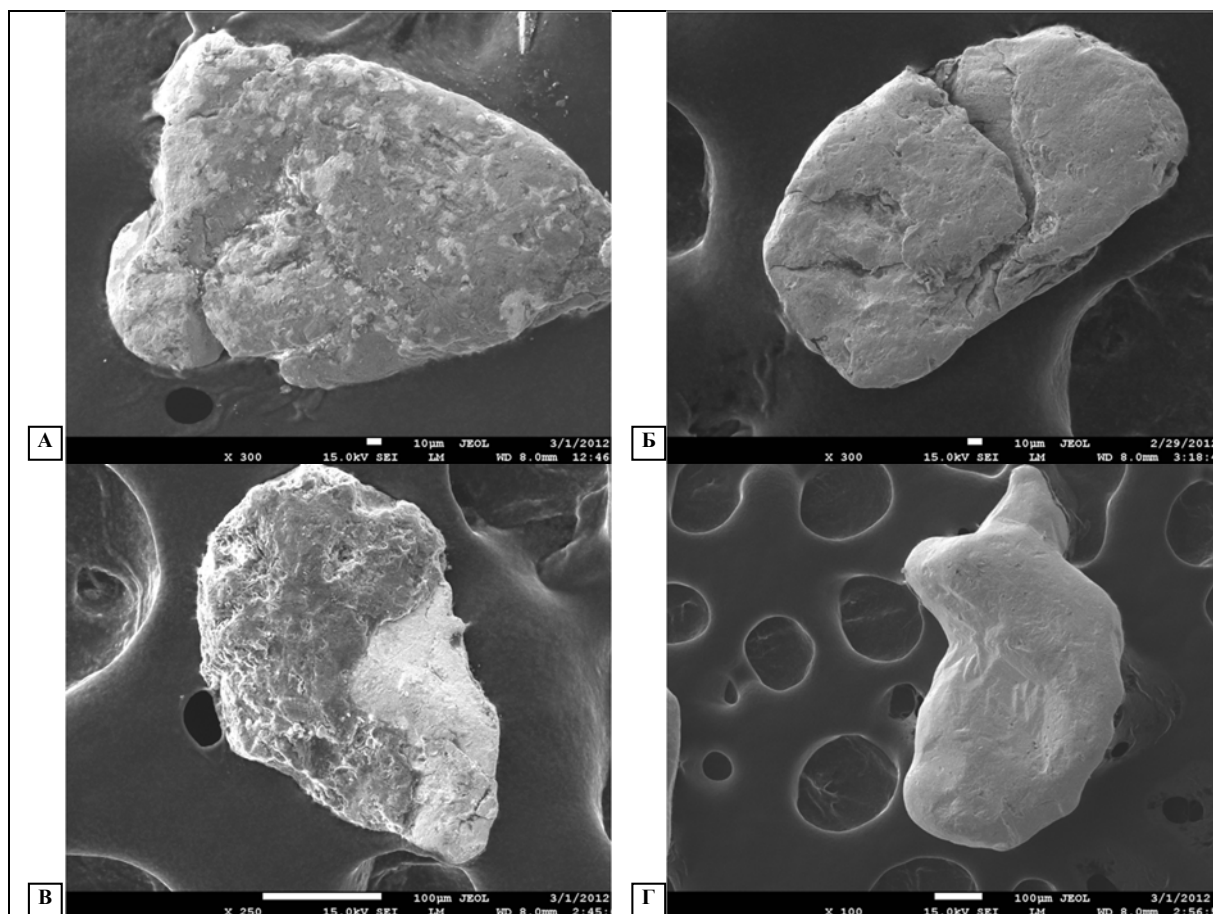


Рис. 2. Фотографии зерен платины: А, Б – изоферроплатина с содержанием Pt – 87,46-87,52 %, Fe – 8,37-10,51 %, В, Г – тетраферроплатина с содержанием Pt – 77,91-82,53 %, Fe – 14,90-18,62 %

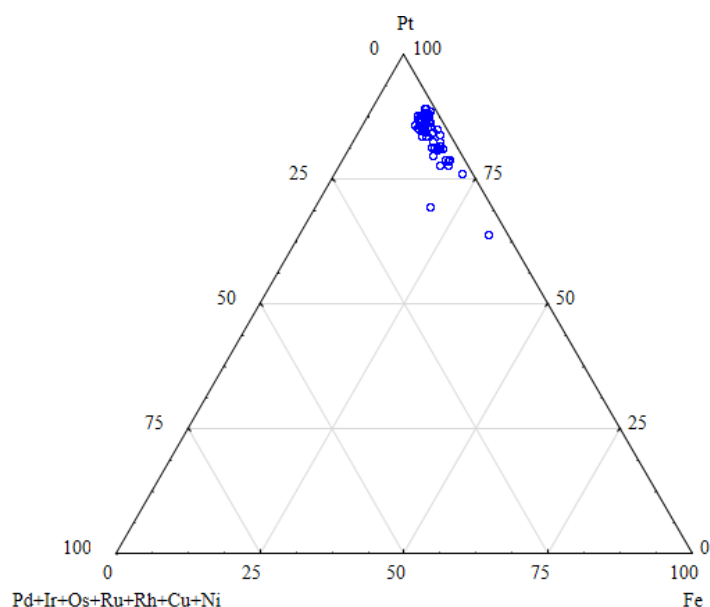


Рис. 3. Диаграмма распределения основных компонентов химического состава платины

Из литературных источников на Среднем Урале известны позднемагматические месторождения проявлений платиновой минерализации качканарского типа (Волченко, 2011). Платиновая минерализация такого типа заключена во вкрапленных и сплошных титаномагнетитовых рудах аподунитовых диалла-

говых пород, которые входят в состав крупных габбро-клинопироксенитовых массивов, подобных Качканарскому на Среднем Урале. Эти массивы принадлежат платиноносной клинопироксенит-дунитовой формации геосинклиналей и к ним приурочены ванадий-титановые месторождения. Руды этих месторождений содержат платиновые минералы, извлечение которых требует усовершенствованных технологических схем. Примером месторождения платиноносных ванадийсодержащих титаномагнетитовых руд является Гусевогорское месторождение. Платинометальная минерализация в этом месторождении распределена неравномерно и представлена, преимущественно, изоферроплатиной, содержащей в среднем 88 % платины и 8,6 % железа. Особенностью данного месторождения является тесная ассоциация платиновых минералов с высокопробным самородным золотом (Смирнов, 1974).

Кора выветривания в полостях карбонатных пород клыктанской свиты на контакте с черными сланцами фэдотовской свиты представляет большой интерес для выявления промышленно-значимых рудопроявлений платины, марганца, никеля, ванадия. Первичным источником рудного вещества является предполагаемый комплекс габбродолеритов, внедрившихся вдоль тектонического контакта верхнерифейских пород и разрушенных процессами выветривания.

Библиографический список:

1. Аблизин Б. Д., Ключина М. Л., Курбацкая Ф. А., Курбацкий А. М. Верхний рифей и венд западного склона Среднего Урала. М. Наука, 1982. 140 с.
2. Бадьянова И. В. Коры выветривания верхнерифейских черносланцевых пород Среднего Урала // Геология и полезные ископаемые Западного Урала. Пермь, ПГНИУ, 2018. № 1(38). С. 24–31.
3. Баранников А. Г. Рудоносный карст мезозойского возраста на Урале // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 2.
4. Блинов С. М., Ваганов С. С., Векслер И. В., Ергалиев Р. Т., Ждакаев В. И., Золотарев Л. Р., Ибраминов Р. Г., Исаева Г. А., Казымов К. П., Крутик И. А., Манькова Т. В., Меньшикова Е. А., Осовецкий Б. М., Перевозчиков Б. В., Пишиотта А., Седунова А. П., Суслов С. Б. Минерально-сырьевая база Пермского края для производства базальтового волокна. Пермь, Перм. ун-т. 2015. 269 с.
5. Волченко Ю. А., Коротеев В. А., Чайковский И. И., Суслов С. Б. Платинометальные проявления Горнозаводского района (западный склон Среднего Урала) // Платина Урала. Избранные труды. Том 2. Екатеринбург: УрО РАН, 2011. С. 105–107.
6. Ляхницкий Ю. С. Транслоевые немагматические явления – сходство и различия // Региональная геология и металлогения. Л.: ВСЕГЕИ, 2014. № 58. С. 66–77.
7. Пучков В. Н. Геология Урала и Приуралья (актуальные вопросы стратиграфии, тектоники, геодинамики и металлогении). Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2010. 280 с.
8. Рыцев А. М., Фаткуллин Р. А., Абдрахманов Р. Ф. Мезо-кайнозойские коры выветривания Южного Урала // Геологический сборник № 8. Информационные материалы. Уфа, Институт геологии Уфимского научного центра РАН, 2009. С. 154–159.
9. Смирнов В. А. Горячий карст: вулканогенные полости в карбонатных породах Урала. Пермь, Перм. ун-т, 2013. 355 с.
10. Смирнов В. И. Рудные месторождения СССР. Том 1. М., Недра, 1974. 328 с.
11. Смирнов В. И. Рудные месторождения СССР. Том 3. М., Недра, 1974. 472 с.
12. Osovetsky V. M. Superficial nanotextures of placer gold // Вестник Пермского университета. Геология. 2016. № 3 (32). С. 34–48.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ СЕКВЕНСКОЙ СТРАТИГРАФИИ ТЕРРИЕГЕННЫХ И КАРБОНАТНЫХ ОСАДОЧНЫХ СИСТЕМ (НА ОСНОВЕ ЗАРУБЕЖНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ)

Статья посвящена описанию основных принципов секвенсной стратиграфии – одной из относительно новых областей геологии, получивших широкое развитие зарубежом, и приобретающей популярность среди российских геологов. Во введении дается определение секвенса, основную часть занимает описание процесса его формирования под действием различных факторов и слагающих секвенс системных трактов, разделенных опорными поверхностями. В заключении кратко приводятся примеры успешного применения секвенс-стратиграфического анализа.

Ключевые слова: секвенсная стратиграфия, системные тракты, трансгрессия, регрессия, седиментационная цикличность

L. D. Pleshkov
Perm State University, levpleshkov@gmail.com

BASIC PRINCIPLES OF SEQUENCE STRATIGRAPHY OF SILICICLASTIC AND CARBONATE SEDIMENTARY SYSTEMS (BASED ON FOREIGN LITERATURE)

Sequence stratigraphy is one of the rapidly developing areas of geological knowledge and it is becoming more and more popular among Russian geoscientists as well. In the introduction, the definition of sequence is given. The main part of the paper accounts for the process of sequence formation under the action of various geological processes. Then, the system tracts and surfaces that form the sequence are described. In conclusion, the examples of successful application of sequence stratigraphic analysis are briefly provided.

Key words: sequence stratigraphy, system tracts, shoreline shifts, regression, transgression, sedimentary cyclicity

Введение

Секвенсная стратиграфия начала оформляться в отдельную дисциплину с 1970-х годов благодаря появлению высококачественных данных сейсморазведки методом отраженных волн. Однако сложности в понимании схожих и порой неразличимых по имеющимся данным геологических процессов и объектов создавали препятствия в установлении единообразной терминологии и интерпретации на протяжении ее развития. Эти проблемы в России усложняются трудностями перевода англоязычной литературы, а также различием в сложившихся подходах к стратиграфической интерпретации геолого-геофизической информации.

Главная задача секвенсной стратиграфии – выделение и прослеживание в геологическом разрезе опорных поверхностей, служащих границами секвенсов или их элементов – системных трактов, и последующее восстановление ис-

тории осадконакопления и тектонических движений. В отличие от сейсмостратиграфического, секвенс-стратиграфический анализ использует всю совокупность доступной информации, включая данные ГИС, описания керна и обнажений, палеонтологические и геохимические данные, а также информацию о современных условиях осадконакопления, аналогичных древним. В некоторых случаях, хотя и с некоторыми ограничениями, он возможен и без сейсмических данных.

Основное преимущество секвенсной стратиграфии состоит в том, что она позволяет анализировать цикличность осадочных толщ как функцию множества факторов, влияющих на заполнение бассейна. Так, эвстатические колебания уровня моря вместе с климатическими условиями, опускание и поднятие территории обуславливают *относительный уровень моря* (ОУМ). Палеогеографические условия, развитие речной сети, тип коренных пород влияют на *объем поступающего осадка*. Наконец, на *геоморфологические особенности* осадочной системы влияют такие факторы, как палеогеография, энергия среды осадконакопления и тектоника. Секвенсная стратиграфия – это инструмент, позволяющий восстановить историю осадконакопления, уникальную для определенной территории и формирующуюся под действием характерного сочетания факторов (Позаментьер и Аллен, 2014).

Секвенс – это основная единица секвенсной стратиграфии, которая соответствует генетически связанным отложениям, залегающим относительно согласно и образующимся за полный цикл изменения относительного уровня моря, и ограниченным в подошве и кровле несогласными поверхностями (Catuneanu, 2006). Эти несогласия отчетливо прослеживаются в отдельных частях секвенса, но по мере удаления от берега или при продвижении вдоль береговой линии они могут переходить в коррелятивные им согласные границы, для распознавания которых необходимы детальные и разнородные данные. В пределах секвенса выделяются системные тракты, соответствующие определенным этапам изменения ОУМ и движения береговой линии, разделенные опорными поверхностями. На формирование секвенса влияет множество факторов, обуславливающих его строение. Рассмотрим далее общие черты основных из них, характерные как для терригенных, так и для карбонатных систем, а также структурные единицы секвенсов.

Основные факторы формирования секвенсов

Аккомодация – одно из наиболее важных понятий, и под ним понимается пространство, в пределах которого возможно накопление осадочного материала. Сверху аккомодация ограничена уровнем моря или озера, снизу – их дном. В случае аллювиальных систем, нижней границей аккомодации будет являться равновесный профиль реки, а не ее дна. Стоит отметить, что понятие относительного уровня моря в условиях недостатка информации помогает избежать необходимости в определении какой же фактор был преобладающим – эвстатическое изменение уровня моря или вертикальные тектонические движения.

Объем, скорость и характеристика поступающего осадка зависит от тектоники, климата, состава денудированного массива и влияет на строение осадочных толщ. В терригенных системах при высоком объеме вносимых осадков может наблюдаться регрессия береговой линии двух типов: нормальная и форсированная. В первом случае скорость вноса осадков превышает скорость подъема ОУМ, и осадочный материал заполняет прибрежное аккомодационное пространство, заставляя отступать береговую линию. Так, в зависимости от соотношения этих скоростей может происходить агградация (напластование преимущественно вверх по разрезу) или проградация (напластование преимущественно в сторону моря по разрезу) в виде форстеппинга (вверх по разрезу). При форсированной регрессии происходит понижение уровня моря, и вне зависимости от объема вносимых осадков происходит частичный размыв береговой линии и образуется поверхность несогласия, которая прослеживается в виде согласной поверхности в более удаленной от берега части аккомодации по разновозрастным отложениям. При форсированной регрессии также происходит проградация, но уже в образе даунстеппинга (вниз по разрезу).

Если скорость вноса осадочного материала меньше скорости подъема ОУМ, наблюдается трансгрессия береговой линии. Из-за пространственной изменчивости в скорости поставки обломочного материала и тектонических движений в пределах одного бассейна могут одновременно происходить разнонаправленные движения береговой линии.

В карбонатных системах осадочный материал практически полностью образуется в пределах аккомодации за счет деятельности организмов и волн, а не вносится из-за ее пределов. При этом максимальная скорость роста карбонатных построек достигается при ее равенстве скорости увеличения ОУМ, и происходит агградация.

Физико-географические условия в отношении формирования секвенсов выражаются в основном в наличии или отсутствии выраженного перегиба между шельфом и склоном, их крутизне и ширине, а также наличии локальных депрессий или поднятий (Позаментьер и Аллен, 2014). В терригенных системах эти факторы определяют возможную мощность обломочных отложений, будут ли формироваться глубоководные отложения, а также скорость смещения береговой линии. В карбонатных системах конфигурация шельфа и склона играет не менее важную роль: от нее зависит протяженность зоны развития рифов и диапазон распределения обломков от их разрушения под действием волн.

В целом, карбонатные системы существенно более чувствительны к изменениям каких-либо факторов, чем терригенные. Секвенсы, образующиеся на карбонатных склонах (рампах), схожи с терригенными секвенсами, в то время как секвенсы карбонатных отмелей (банок) имеют уникальное для них строение.

Процесс формирования секвенсов и их структура

Секвенс формируется за цикл колебания относительного уровня моря, равный одному его периоду. Продолжительность этих циклов может быть разной,

как и объем формирующихся за это время пород. В качестве реакции на скорость изменения ОУМ формируются так называемые системные тракты, а также ключевые поверхности, служащие важными геологическими границами. На рисунке 1 представлена обобщенная модель формирования секвенса, на которой изображены основные его элементы в глубинном и временном масштабах в виде, характерном для условий шельфа. Анализируя кривые изменения уровня моря, следует учитывать их общий облик, который в реальности может быть осложнен циклами как большей, так и меньшей длительности.

Системный тракт низкого стояния (СТНС) моря соответствует периоду понижения ОУМ (ранняя фаза), его остановке и последующему началу медленного повышения (поздняя фаза). Он образуется до тех пор, пока скорость повышения ОУМ не превысит скорость осадконакопления. Чрезвычайно важным является то, что во время ранней фазы СТНС происходит формирование поверхности несогласия, которая служит границей секвенса, а время ее формирования в терригенных системах не зависит от скорости поступления обломочного материала. Эта граница переходит в согласную поверхность по мере удаления от суши, когда происходит образование ступенчато погружающихся осадочных клиньев в результате сформированной регрессии. Во время поздней фазы СТНС, когда падение уровня моря замедляется и обращается вспять, происходит нормальная регрессия. Именно на стадии формирования СТНС происходит врезание многочисленных речных долин в отложения шельфа, в том числе и в карбонатных системах. В них на стадии низкого стояния моря прекращается карбонатообразование, развивается карст. Образующиеся при этом эрозионные поверхности служат границами карбонатных секвенсов, отделяющих их от предшествующих секвенсов как карбонатного, так и терригенного происхождения.

Трансгрессивный системный тракт (ТСТ) соответствует периоду трансгрессии, когда скорость повышения ОУМ начинает превышать скорость осадконакопления либо ввиду эвстатического повышения уровня моря, либо из-за углубления аккомодации под действием тектонических сил. Деятельность речных систем в образовании отложений существенно уменьшается, вместо дельтовых систем образуются эстуарии. Важно понимать, что при формировании ТСТ в терригенных системах происходит как внос обломочного материала с континента, так и перетолжение существующих в секвенсе пород, в результате чего образуется вторая опорная поверхность – трансгрессивная.

К концу трансгрессии в разрезе начинают преобладать все более мелкозернистые и тонкослоистые породы, слагающие конденсированный разрез. В этом разрезе проходит третья опорная поверхность – максимального затопления. Она представляет время максимального затопления на шельфе в терригенных системах.

В карбонатных системах ТСТ является определяющим фактором для последующего их развития. Если скорость повышения уровня моря окажется слишком велика, аккомодация может оказаться на глубине, на которой карбонатообразование невозможно ввиду недостатка солнечного света. При этом формируется свойственный только карбонатным системам тип несогласия — несогласие затопления, ярко выраженное на сейсмических разрезах.

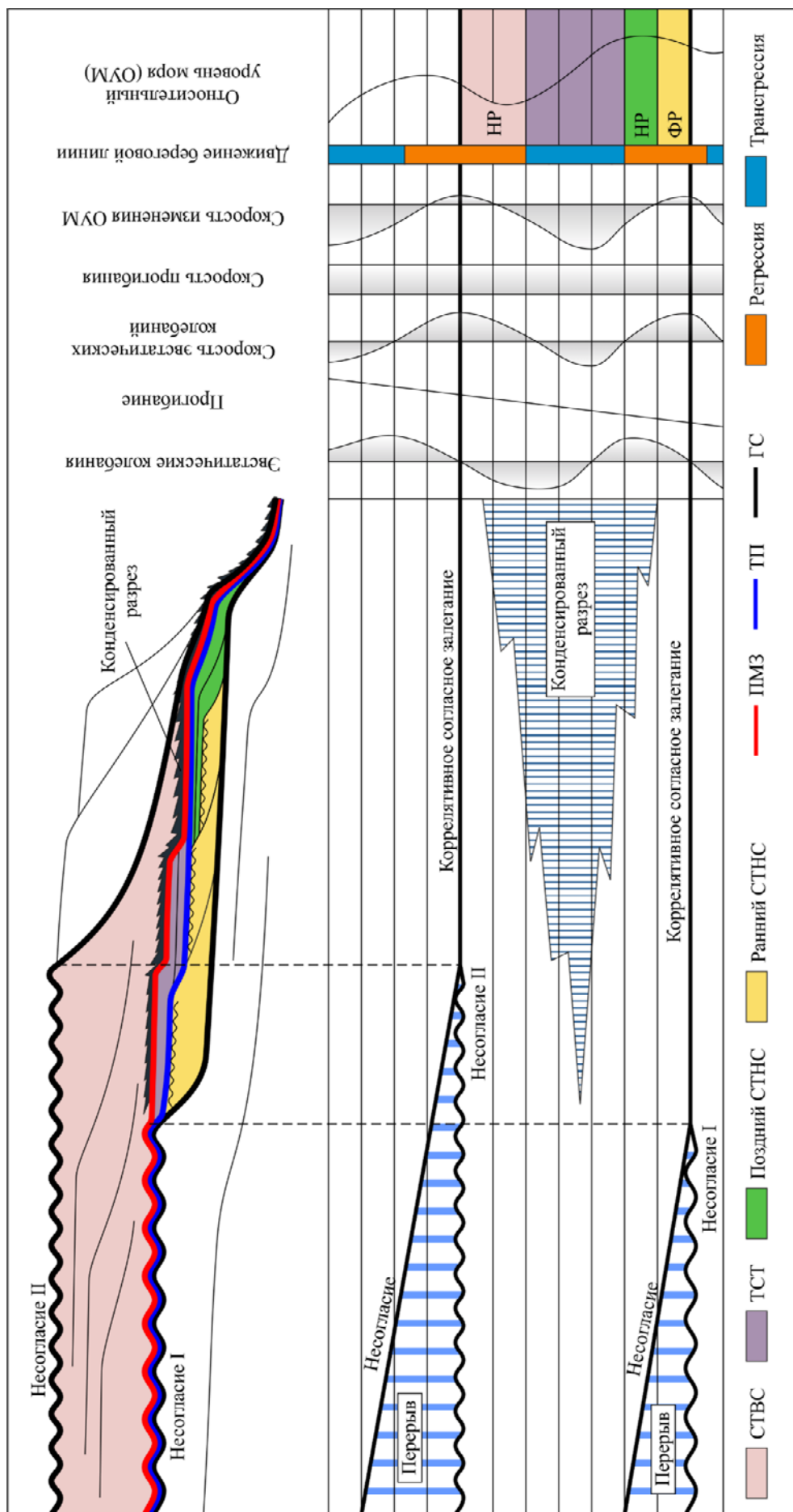


Рис. 1. Обобщенная модель формирования секвенс. В верхней части рисунка секвенс показан в глубинном масштабе, в нижней — во временном. В правой части рисунка отображены условные изменения некоторых факторов, влияющих на формирование секвенс. Количество вносимого осадочного материала принимается постоянным на протяжении всего цикла изменения ОУМ. Расшифровка аббревиатур: СТНС — системный тракт низкого стояния, ТСТ — трансгрессивный системный тракт, СТВС — трансгрессивный системный тракт высокого стояния, ПМЗ — поверхность максимального затопления, ГС — граница секвенса, ФР — форсированная регрессия, НР — нормальная регрессия.

(Обобщено и воспроизведено по Г.В. Позаментьеру и Дж.П. Аллену, 2014)

В благоприятном случае уровень моря растет медленно, и глубина аккомодации к концу ТСТ будет способствовать карбонатообразованию в течение следующего этапа. Низкая скорость увеличения ОУМ способствует не только росту карбонатных построек, но и переотложению карбонатного обломочного материала, образующегося под действием волн и штормов на шельфе и его склоне. Можно различать три типа ТСТ для карбонатной системы (Catuneanu, 2006): начальный, с которого начинается ее развитие, внутренний и финальный, предшествующий переходу к терригенным условиям осадконакопления. Последний тип, как правило, образуется над поверхностью затопления.

Системный тракт высокого стояния (СТВС) моря соответствует периоду замедления повышения ОУМ до тех пор, пока скорость поступления осадков не сравняется со скоростью увеличения аккомодации. При этом может устанавливаться относительно стабильная береговая линия, а после – происходит регрессия с проградацией осадочного материала в сторону моря. Отмечается, что песчаные пласты, образующиеся благодаря возобновившемуся влиянию речных дельт в СТВС, становятся более тонкими и взаимосвязанными.

Для развития карбонатных осадочных система СТВС является благоприятным, если предшествовавший ему терригенный секвенс имеет обширную площадь для последующего карбонатообразования, и, если трансгрессия в течение ТСТ была медленной. При этом, в условиях превышения скорости образования осадочного материала над скоростью повышения ОУМ часть карбонатных построек разрушается и происходит постепенный снос обломков в более глубокие части аккомодации.

Таким образом, главное отличие карбонатных осадочных систем от терригенных, как указано О. Catuneanu (2006), в следующем: в первых – при снижении уровня моря осадкообразование резко снижается, в то время как увеличение аккомодации предоставляет пространство для развития карбонатных построек и отложения продуктов их разрушения; в последних основной объем отложений накапливается на этапах снижения ОУМ, а маломощный конденсированный разрез образуется за время его подъема. Отличия секвенсов осадочных бассейнов различных типов будут заключаться в соотношении мощностей системных трактов, выраженности опорных поверхностей, а самое главное в том, в какой степени те или иные структурные элементы секвенса сохранились в последующей после его формирования геологической истории.

Заключение

Секвенс-стратиграфический анализ оказывается эффективен при прогнозировании пород-коллекторов, покрышек и нефтегазоматеринских пород, что играет важную роль в формировании стратегии проведения геологоразведочных работ. Примеры исследований, в которых для изучения закономерностей распространения осадочных отложений используется секвенс-стратиграфический анализ, позволяют перечислить основные результаты такого подхода: восстановление процесса осадконакопления и роли в нем тектонических движений в среднем–верхнем девоне (Hashmie и др, 2016), обнаружение и интерпретация

структур с благоприятными для скопления углеводородов петрофизическими характеристиками (Abiola и др., 2018), прогнозирование в разрезе пород-коллекторов и покрышек в карбонатных отложениях верхнего отдела каменноугольной и пермской систем (Cecchi, 1993).

В завершение стоит отметить, что секвенс-стратиграфический подход ныне не всегда является определяющим при изучении осадочных бассейнов, хотя и является многообещающим при достаточном количестве геологической, геохимической, палеонтологической и геофизической информации. Секвенсная стратиграфия находится на этапе активного развития несмотря на то, что в последнее время были проведены весьма успешные попытки установить единообразие в понимании ее основных принципов и терминов (Позаментьер и Аллен, 2014; Catuneanu, 2006).

Библиографический список:

1. Позаментьер Г., Аллен Дж. П. Секвенская стратиграфия терригенных отложений. Основные принципы и применение. М. Ижевск: «Институт компьютерных исследований», 2014. 436 с.
2. Abiola, O., Olowokere, M. T., Ojo, J. S. Sequence stratigraphy and depositional sequence interpretation: A case study of «George» Field, offshore Niger Delta, Nigeria. *Petroleum Research*, 3 (2018). p. 25–32.
3. Catuneanu, O. Principles of sequence stratigraphy. First edition. ELSEVIER, 2006. 375 p.
4. Cecchi, M. Carbonate sequence-stratigraphy: application to the determination of play models in the Upper Palaeozoic of the Barents Sea, offshore northern Norway. *Norwegian Petroleum Society Special Publications*, January 1993. p. 419–438.
5. Hashmie, A., Rostamnejad, A., Nikbakht, F., Ghorbanie, M., Rezaie, P., Gholamalian, H. Depositional environments and sequence stratigraphy of the Bahram Formation (middle–late Devonian) in north of Kerman, south-central Iran. *Geoscience Frontiers* 7 (2016). p. 821–824.

Ю. Г. Пактовский
ПГНИУ, urijpaktovskij65@gmail.com

ИСТОРИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ РУССКОЙ ПЛИТЫ В ЗОНЕ СОЧЛЕНЕНИЯ ТИМАНСКИХ И УРАЛЬСКИХ СТРУКТУР В ПОЗДНЕМ ПРОТЕРОЗОЕ

Геологическая история Тиманской и Древнеуральской окраин Русской плиты в позднем протерозое (RF₃-V₂) представлена с точки зрения стадийности их развития. Выводы заключаются в следующем: 1) геологическая история территории Южного Притиманья имеет тесную связь с развитием Тиманской подвижной системы; 2) рифтовая активизация на Тиманской окраине произошла в позднем рифее (RF₃), а на Древнеуральской – в раннем венде (V₁), что говорит о более ранней активизации Полюдовского рифта по сравнению с Кваркушко-Каменногорским.

Ключевые слова: Тиман, Русская плита, рифтогенез, стадийность геологического развития.

HISTORY OF THE GEOLOGICAL DEVELOPMENT OF THE RUSSIAN PLATE IN THE ZONE OF THE CONNECTION OF THE TIMAN AND URAL STRUCTURES IN THE LATE PROTEROZOIC

The geological history of the Timan and Ancient-Ural periphery of the Russian Plate in the Late Proterozoic (RF₃-V₂) is presented from point of view the staging of their geological development. The conclusions are as follows: 1) the geological history of the territory of South Cis-Timan is closely related to the development of the Timan mobile system; 2) rift activation in the Timan outskirts took place in the Late Riphean (RF₃), and in Ancient-Ural, in the Early Vendian (V₁), which indicates an earlier activation of the Polyudovskiy rift compared to Kvar Kushsko-Kamenogorskiy.

Key words: Timan, Russian Plate, rifting, staging of geological development.

Для Западно-Уральской зоны складчатости (ЗУЗС) история развития определяющих ее структурный план крупных геологических структур является проблемой (Кондиайн, 2011). Другая проблема – методологическая и отражает процесс смены геологических парадигм (Хаин, Рябухин, 1997). Переход от статичной (точнее, полициклической, по Ю.Д. Смирнову, 1977) геосинклинальной модели к современной модели тектоники плит занял достаточно протяженный период в отечественной геологии. За это время сформировалось представление о важности процессов континентального рифтогенеза в докембрийской геологической истории Урала (Ключина, 1981; Курбацкая, 1985; Хаин, Божко, 1988; Милановский, 1999 и др.). Полициклическости геологического развития территории Южного При тиманья посвящена предыдущая наша статья (Пактовский, 2019).

Для исследуемой территории ранние этапы ее развития связываются с геологической историей Русской плиты и устанавливаются, в основном, по геофизическим и палеомагнитным данным. Архейско-нижнепротерозойский (AR₂-PR₁) субстрат земной коры Русской плиты имеет мозаичное строение (Ибламинов, Алванян, 2018). Эта мозаика гранитных блоков, сшитых зонами подвижных поясов, получил название гранит-зеленокаменных областей. В результате эмбриональной тектоники плит (Хаин, 2003) на протяжении мезо- и неоархея (AR₂₋₃) возникли микроконтиненты: Волго-Уральский, Сарматский, Фенноскандинавский. На рубеже архея и протерозоя (2,5 млрд лет назад) они образовали единый материк, кратон Балтика, в составе первого предполагаемого суперконтинента Пангея 0 (Хаин, 2003; Пучков, 2010). по Богдановой, Писаревскому, Ли (2009), к началу позднего рифея (RF₃) образовался новый суперконтинент – Родиния (или – Пангея II, по Хаину, 2003), становление которого заняло около 400 млн. лет (от 1,3 до 0,9 млрд. лет назад). Распад суперконтинента Родиния связывается с мантийным суперплюмом (830-650 млн. лет назад). Геологическая история Восточно-Европейской эпикарельской и Печорской эпибайкальской плит, в их сопряжении с Тиманским и Уральским подвижными системами в позднем докембрии, непосредственно связана с процес-

сами становления и распада суперконтинента Родиния. Важность геологического рубежа (1 млрд лет тому назад, начало позднерифейской эры – RF₃) особо подчеркивает В.Е. Хаин, поскольку именно с этого времени механизм тектоники плит стал подобен современному (Хаин, 2003).

Учитывая сложность развития каждой из крупных геологических структур региона, О.А. Кондиан предложил стадийность их развития (2011). В таблице 1 мы выделили эти стадии для территории Южного Притиманья. Уже в конце среднего рифея (RF₂) произошло заложение Тиманской подвижной системы. Одновременно, в тесной связи с этим событием, в результате распада суперконтинента Родинии обособились тазовско-баренцевоморская (ТБ) и восточно-европейская (ВЕ) ее части (табл. 1).

Таблица 1. Стадии развития основных структур Южного Притиманья в позднем протерозое (по О.А. Кондиану, 2011; с дополнениями автора)

Время, млн. лет	Общая возрастная шкала				Тектонические регионы и стадии их развития			
	Эон	Эра	Период	Эпоха				
565			PZ	Є	V ₂ - Є ₂	УТ (Вендия)		
555-570	PR ₂	RF		V	V ₂	BE ₂ ¹	ДУ ₃	
635					V ₁		T ₃	ДУ ₂
			RF ₃	RF ₃ ³ (RF _{3nz})	T ₂		ДУ ₁	
				RF ₃ ² (RF _{3dm})				
1000				RF ₃ ¹ (RF _{3rs})				T ₁
			RF ₂	RF ₂ ⁴				
				RF ₂ ³				
				RF ₂ ²				
				RF ₂ ¹				
1600				RF ₁				Евр (Родиния)
	PR ₁							

Условные обозначения к таблице 1: ВЕ – Восточно-Европейская платформа, Евр – Евразийская протоплатформа (суперконтинент Родиния), ТБ – Тазовско-Баренцевская платформа, УТ – Урало-Тиманская эпибайкальская платформа (область завершённой складчатости, входящая в состав суперконтинента Вендия), ДУ – Древнеуральская позднебайкальская подвижная (геосинклинальная) система, Т – Тиманская раннебайкальская подвижная (геосинклинальная) система. Цифрами обозначены стадии развития структур

Между плитами с северо-запада на юго-восток, согласно простиранию тиманид, начал раскрываться Печорский палеоокеан, в стадийности: внутриконтинентальный – межконтинентальный рифт. Причем, со стороны Русской плиты образовалась пассивная окраина с классической триадой: шельф, континентальный склон, подножие, а со стороны Тазовско-Баренцевоморской – активная (Оловянишников, 1997). Все время существования Печорского палеоокеана окраина Русской плиты, обращенная к нему, оставалась пассивной (Тимонин, 1997).

Вторая, или средняя, стадия формирования Тиманского подвижного пояса, соответствует всему верхнему рифею – RF_3 . Необходимо подчеркнуть, что Русская плита (BE_1) в эту эру все еще находится на первой стадии своего развития, а Древнеуральский подвижный пояс только начинает закладываться (табл. 1). В результате сопряжения двух подвижных поясов Тиманская структура заняла секущее положение по отношению к Древнеуральской и образовала по отношению к Русской плите классический угол 120° , характерный для трехлучевых точек.

Более молодой Древнеуральский подвижный пояс рассек Тазовско-Баренцевоморскую плиту, приспособившись к ее внутриконтинентальному рифту, а также более древний Тиманский подвижный пояс, и наложился на окраину Русской плиты (Кондияйн, 2011).

Структуры подобия настолько часто встречаются в природе, что не обратить на них внимание просто невозможно. Так, Калтасинский авлакоген раннерифейского заложения (RF_1), более ранний, чем Полюдовский ($RF_{2(?)}$ – RF_3), подобен ему по простиранию, и косвенно подтверждает доверхнерифейское время заложения последнего.

Еще раз стоит отметить, что в конце позднего рифея (RF_3^3) крупные геологические структуры, определившие структурный план территории Южного При тиманья, находились на разных стадиях развития: Русская плита – на первой; Тиманский подвижный пояс – на завершающей; а Древнеуральский – на второй (табл. 1). Отсюда следует вывод, что завершение истории геологического развития территории Южного При тиманья на этом временном рубеже еще не закончено. И как следствие – завершение наступило в венде (V_{1-2}), когда в результате коллизии Печорская плита причленилась к Русской (V_2), образовав Восточно-Европейскую платформу (ВЕП).

Исходя из более древнего возраста заложения Тиманской подвижной системы, можно сделать вывод о том, что первым образовался Полюдовский рифт и только потом – Кваркушско-Каменногорский. Сравнение формационных рядов Тиманской и Древнеуральской окраин Русской плиты также показывает существенные различия. Рифейский ряд Полюдовской зоны – полный (RF_3^1 – RF_3^3), а Кваркушско-Каменногорской – усеченный (RF_3^3), что стало очевидно после находки криноидей такатинского (D_2tk) уровня в песчаниках синегорской свиты, условно сопоставляемой ранее с рассольнинской (RF_{3rs}) и деминской (RF_{3dm}) свитами Полюдовской зоны (Наседкина, Анцыгин, 2005; Ибламинов, Суслов, 2015).

На предлагаемой автором схеме сопоставления стадийности развития Тиманской и Древнеуральской окраин Русской плиты, составленной по данным упомянутых выше исследователей, показана разновременность формирования различных геологических структур региона (табл. 2).

В начале поздней стадии своего развития восточная часть Древних Уралид испытала значительное поднятие – так образовалась первая Уральская горная система, которую по подобию названий суперконтинентов можно назвать Урал I (V_2). Снос обломочного материала в эпоху верхнего венда осуществлялся с востока на запад, на Русскую плиту, где в части, прилегающей к Уралу I, об-

разовывались предгорные впадины, заполнявшиеся молассой (Смирнов, 1977; Пучков, 2010; Кондаин, 2011).

Таблица 2. Схема сопоставления стадий развития Тиманской и Древнеуральской окраин Русской плиты

Общая воз- растная шкала	Восточно-Европейская платформа				Урал	
	Печорская плита		Русская плита			Урал I
	Тиманская подвижная система		Тиманская окраина	Древнеуральская окраина		Древнеуральская подвижная система
V ₂ -Є	Плитный режим, эродирование Тимана			Коллизия, складчатая система Урала I. Предгорный бассейн		
V ₂	Мезенский предгорный палеобас- сейн	Коллизия, складчатая система Тимана		Отмирание рифта (ин- версия)	Субдукция, орогенез Урала I	Древнеуральский палеоокеан
V ₁	Печорский палеоокеан	Субдукция, орогенез Тимана	Отмирание рифта (ин- версия)	Рифтовая активиза- ция	Спрединг	
RF ₃		Спрединг	Рифтовая активизация	Межконтинентальный рифт		
		Межконтинентальный рифт		Внутриконтинентальный рифт		
RF ₂	Внутриконтинентальный рифт		Плитный режим Русской плиты			

В Южном Притиманье коллизия Русской и Печорской плит привела к компенсированному погружению северо-восточной части Русской плиты на фоне растущего орогена Тимана. Здесь образовывались мелкозернистые осадки в дистальных обстановках Мезенского предгорного палеобассейна (Гражданкин, Маслов, 2010). Между тем, в Южном Притиманье отмечаются более грубые осадки кочешорского времени (V₂kс), вплоть до образования гравийных и галечных разностей, что также требует своего объяснения.

Таким образом, на основе стадийного анализа эпохи позднего протерозоя северо-восточной окраины Русской плиты выясняются как очевидные, так и проблемные пункты. К первым относится тесная связь территории Южного Притиманья с Тиманским подвижным поясом; ко вторым – тройная точка Полюдовского рифта, время и место ее образования, а также возможной ее миграции во времени в сторону новообразованного Кваркушко-Каменногорского рифта.

Проведенный анализ стадийного развития главных геологических структур региона показывает, что: 1) история геологического развития территории Южного Притиманья тесно связана с Тиманской подвижной системой; и 2) активизация Полюдовского рифта (RF₃) произошла раньше Кваркушко-Каменногорского (V₁), который, в свою очередь, непосредственно связан с развитием Древнеуральской подвижной системой.

Библиографический список:

1. Богданова С. В., Писаревский С. А., Ли Ч. Х. Образование и распад Родинии (по результатам МПГК 440) // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2009. Т. 17, № 3. С. 29–45.
2. Геология и полезные ископаемые России. В шести томах. Т.1. Запад России и Урал. Кн. 2. Урал / Ред. О. А. Кондайн. Соредакторы А. А. Беляев, А. Н. Мельгунов, Н. А. Румянцева. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2011. 584 с.
3. Гражданкин Д. В., Маслов А. В., Крупенин М. Т., Ронкин Ю. Л. Осадочные системы сыльвицкой серии (верхний венд Среднего Урала). Екатеринбург: УрО РАН, 2010. 280 с.
4. Ибламинов Р. Г., Суслов С. Б. Сарановский комплекс: региональное положение, палеотектоника // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении. Пермь, Перм. гос. нац. исслед. ун-т, 2015. С. 145–153.
5. Ибламинов Р. Г., Алванян А. К. Региональная минерагения общераспространенных полезных ископаемых (на примере Пермского края). Пермь: Перм. ун-т, 2018. 120 с.
6. Ибламинов Р. Г., Гершанок В. А., Пактовский Ю. Г. Влияние строения фундамента на геологическое развитие Западного Урала // Геология и полезные ископаемые Западного Урала. Пермь: Перм. ун-т, 2019 (в печати).
7. Ключина М. Л. Этапы осадконакопления докембрийской и раннепалеозойской истории Урала // Стратиграфия и литология докембрийских и раннепалеозойских отложений Урала. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1982. С. 9–22.
8. Ключина М. Л., Дембовский Б. Я. История геологического развития западного склона Урала в позднем докембрии и раннем палеозое // Геологическое развитие Урала: достижения и проблемы. М., 1988. С. 98–106.
9. Курбацкая Ф. А. Формации и палеотектоника Уральской окраины Восточно-Европейской платформы в позднем докембрии / Автореф. дисс. ... докт. геол.-мин. наук. М.: МГУ, 1985. 38 с.
10. Курбацкая Ф. А. О строении и развитии зоны сочленения Западного Урала и Восточно-Европейской платформы в позднем докембрии // Докембрийские вулканогенно-осадочные комплексы Урала. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1986. С. 50–59.
11. Курбацкая Ф. А. О латеральной зональности разрезов спарагмитовой формации на Западном Урале // Геология и полезные ископаемые Западного Урала. Пермь: Перм. ун-т, 1997. С. 29–30.
12. Милановский Е. Е. Рифтогенез и его роль в развитии Земли // Соросовский образовательный журнал, 1999, № 8. С. 60–70.
13. Наседкина В. А., Анцыгин Н. Я., Зенкова Г. Г., Богоявленская В. М., Бороздина Г. Н., Брейвель Н. М. Биостратиграфия и корреляция девонских отложений Западного склона Среднего Урала // Литосфера, 2005, № 3. С. 136–147.
14. Оловянишников В. Г. Модель строения верхнерифейской рифогенной формации Тимана. Сыктывкар: Коми научный центр УрО РАН, 1997. 40 с.
15. Оловянишников В. Г. Верхний докембрий Тимана и полуострова Канин. Екатеринбург: УрИЦ РАН, 1998. 164 с.
16. Пактовский Ю. Г. Геологическое развитие территории Южного Притиманья в позднем протерозое // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении. Пермь: Перм. ун-т, 2019. С. 216–223.
17. Пучков В. Н. Геология Урала и Приуралья (актуальные вопросы стратиграфии, тектоники, гединамики и металлогении). Уфа: ДазайнПолиграфСервис, 2010. 280 с.
18. Смирнов Ю. Д., Боровко Н. Г., Вербицкая Н. П., Румянцева Н. А., Бекасова Н. Б., Горский В. П., Евдокимов Ю. Б., Лукьянова Л. И. Геология и палеогеография западного склона Урала. Л.: Недра, 1977. 199 с.
19. Тимонин Н. И. Печорская плита: история геологического развития в фанерозое. Екатеринбург: УрО РАН, 1998. 240 с.
20. Хаин В. Е. Основные проблемы современной геологии. 2-е изд. М.: Научный мир, 2003. 348 с.

21. Хаин В. Е., Божско Н. А. Историческая геотектоника. Докембрий. М.: Недра, 1988. 382с.
22. Хаин В. Е., Рябухин А. Г. История и методология геологических наук. М.: Изд-во МГУ, 1997. 224 с.
23. Шалагинов В. В., Гилева Н. П. Проблемы докембрия Урала // Проблемы стратиграфии Урала. Докембрийские образования. Кембрийская система. Свердловск:, 1990. С.4–24.

И. С. Копылов, Л. И. Даль, Р. Н. Трофимов
ПГНИУ, georif@yandex.ru

ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ СОЗДАНИЯ ГЕОПАРКА НА СРЕДНЕМ УРАЛЕ

В статье обзорного характера рассмотрено понятие «Геопарк», дана их характеристика. Приведены примеры создания подобных объектов в различных регионах. Проведен анализ территории Среднего Урала и показаны возможности создания геопарка.

Ключевые слова: геопарк, горно-геологический туризм, Средний Урал.

I.S. Kopylov, L.I. Dal, R.N. Trofimov
Perm State University, georif@yandex.ru

GEOLOGICAL PRECONDITIONS OF CREATING GEOPARK IN THE MIDDLE URAL

The review article describes the concept of «Geopark», given its characteristics. Examples of creating such objects in various regions are given. The analysis of the territory of the Middle Urals and the possibility of creating a geopark.

Key words: geopark, geological tourism, Middle Ural.

Проблема формирования и развития геопарков находится на стыке наук геологии (историческая геология, палеонтология, учение о полезных ископаемых, горное дело, история науки и др.) и географии (рекреационная география, экономическая география, туризм).

Геопарки – это единые географические районы, где объекты и ландшафты международного геологического значения управляются согласно целостной концепции защиты, образования и устойчивого развития (www.globalgeopark.org). Геопарк – имеющий особый охраняемый статус регион, на территории которого наглядно раскрывается геологическая история Земли, формирования местных ландшафтов, образования пород и месторождений полезных ископаемых, сохранились в массовом порядке ископаемые останки доисторических животных. В созданных в различных странах геопарках проводятся ознакомительные экскурсии, наиболее значимые места (геопункты) оборудованы пояснительными таблицами. По специально проложенным маршрутам, оборудованным указателями и путевыми картами, могут передвигаться как пешие туристы, так и велотуристы. Движение по созданию геопарков заро-

дилось в 1990-е годы и постепенно охватило всю планету. С 2002 г. существует специальная программа ЮНЕСКО по поддержке в создании всемирной сети национальных геопарков (Global Network of National Geoparks). С 2004 г. созданная организация всемерно развивает т. н. «геотуризм», служащий как просветительским, так и социо-экологическим целям. К октябрю 2010 г. в эту организацию ЮНЕСКО входили 77 геопарков из 24 стран. В 2000 г. создается Европейская сеть геопарков, в которой к июлю 2011 г. находились 43 региона Европы из 17 стран. Входящие в эту сеть геопарки связаны между собой организационно и оказывают друг другу хозяйственную и экономическую помощь. В Европе геопарки расположены в таких государствах, как Австрия, Германия (13), Греция, Франция, Хорватия, Англия, Шотландия, Финляндия, Норвегия, Испания, Италия, Чехия, Румыния, Португалия, Ирландия, Сев. Ирландия. За пределами Европы геопарки ЮНЕСКО созданы в Китае (22), Вьетнаме, Малайзии, Японии, Южной Корее, Канаде, Бразилии, Иране, на Тайване (www.globalgeopark.org).

Глобальные геопарки ЮНЕСКО использует свое геологическое наследие, в связи со всеми другими аспектами природного и культурного наследия района. Его назначение – повысить осведомленность и понимание ключевых проблем, стоящих перед обществом, таких как рациональное использование ресурсов Земли, смягчение последствий изменения климата и стихийных бедствий. Глобальные геопарки ЮНЕСКО дают местным жителям чувство гордости за свой регион и усиливают их идентификацию с ним. Создание инновационных местных предприятий и новых рабочих мест стимулируется развитием геотуризма.

По критериям разработанным ЮНЕСКО (www.geomem.ru/geoparks.php), геологические парки должны:

- представлять высокое достижение человеческой деятельности (например, уникальные отработанные месторождения, древние горные выработки), строительную, архитектурную, технологическую или ландшафтную целостность, природный геологический феномен (геологический памятник);
- обеспечивать обмен информацией, сохранность культурных традиций и свидетельств цивилизации;
- отражать естественное, характерное для той или иной эпохи развитие форм рельефа, природных геологических процессов, геологические особенности развития планеты, результаты недропользования;
- характеризовать важнейшие современные эколого-биологические процессы, происходящие на планете, и естественную среду обитания (Колесникова, Хуусконен, 2015; Светов, Колесников, Колесникова, 2016).

В отличие от природных парков, в которых предусмотрены ограничения на посещения, геопарки ориентированы больше на познавательно-просветительскую деятельность и геотуризм в том числе.

Важнейшее значение для образования геопарков имеют геологические памятники. Выделяются геологические памятники следующих типов:

- стратиграфические,
- историко-геологические,
- палеонтологические,
- минералогические и петрографические,

- гидрологические,
- вулканические,
- горно-геологические.

Некоторые примеры создания успешных геопарков в мире

Швейцария. Геопарки появились в Швейцарии относительно недавно. В 2001 и 2003 годах были созданы два геопарка, и в настоящее время в проекте находятся еще пять. В декабре 2005 г. Парламентом была принята редакция Закона об охране природы Швейцарии. Пересмотр закона направлен на содействие созданию крупных охраняемых районов по всей стране. Государство будет субсидировать три категории природных парков: национальные парки, природные региональные парки и природные пригородные парки. Более 35 проектов новых парков в настоящее время находятся на подготовительной стадии и ориентированы на получение экологического статуса охраняемой территории. Первый шаг заключается в оценке характеристик геолого-геоморфологического наследия различных проектов. Далее методом анкетирования оценивается место геологии и геоморфологии в проекте. На основе этой оценки обсуждается потенциал различных проектов по созданию геопарка (www.globalgeopark.org).

Малайзия. Острова Лангкави являются идеальным местом для организации геопарка, поскольку они представляют собой наиболее полную геологическую последовательность палеозойской горных образований данного региона. Собрание из 99 островов с выдающимся тропическим карстовым ландшафтом и разнообразными геологическими особенностями создает привлекательный ландшафт, обеспечивая основу для выбора первого национального геопарка в Малайзии. Из нескольких кластеров малайских рыболовных сообществ острова переросли в главное туристическое направление страны. Чтобы сохранить геологическую уникальность островов и природное наследие, не ставя под угрозу их потенциал для использования ресурсов, государственная власть приняла решение объявить острова Лангкави геопарком (www.globalgeopark.org).

Китай.

Гугуанянский геопарк с красивыми озерами Маара, экоокружающей средой и современным музеем расположен на полуострове Лейчжоу на юге Китая. Из неизвестного этот район превратился в привлекательное живописное место, и теперь играет важную роль в развитии местного сообщества. Это пример того, как надо создавать успешные геопарки. Его особенности:

- сценические особенности геопарка показаны на основе раскопок и повышения научной значимости и ценности геологического наследия. Осадок озера Хугуаньян из буровых ядер выявил палеоклиматический архив высокого разрешения в рамках совместного исследования между Китаем и Германией, и недавно было опубликовано множество результатов исследований.
- разнообразные сцены природы в геопарке составлены в сочетании с научными функциями.
- создан современный музей с богатыми научными знаниями и культурой.
- единая административная система отвечает за управление, защиту и развитие всего геопарка.

– местное правительство оказывает сильную поддержку геопарку. Оно объединяет усилия с компаниями и институтами. Это лучший способ сделать успешный геопарк (www.globalgeopark.org).

Национальный геопарк Чжанье Данься. Парк расположен в северных предгорьях хребта Циляншань, в уездах Линьцзэ и Сунань. Чжанье Данься известен своими необычными цветами скал, являющихся гладкими, острыми и достигающими высоты нескольких сотен метров.

Они образованы отложениями песчаника и других полезных ископаемых, которые сформировались здесь в течение 24 миллионов лет. В результате образовалось подобие слоёного пирога, возникшее вследствие движения тех же самых тектонических плит, благодаря которым сформировалась часть Гималаев. В 2005 году Чжанье Данься был признан коллегией журналистов, представлявших 34 крупнейших СМИ, одним из самых красивых рельефов Данься в Китае. В 2009 г. китайская версия журнала National Geographic назвала Чжанье Данься одним из «шести самых красивых ландшафтных образований» в Китае. В 2010 году разноцветные горы Чжанье Данься попали под опеку Всемирного наследия ЮНЕСКО, а в ноябре 2011 года весь живописный район получил статус национального геопарка. Парк стал главной туристической достопримечательностью в окрестностях Чжанье. Чтобы посетителям было удобнее осматривать скальные образования, было построено большое количество деревянных настилов и подъездных дорог. В 2014 г. в совершенствование инфраструктуры в области Бингоу было вложено 100 миллиардов юаней (<http://udivitelno.com/mesta/item>).

В России на законодательном уровне пока нет термина «геопарк». Планируется и активно формируются проекты геопарков на Алтае, Карелии, Кавказе, Прибайкалье, Урале и в других регионах.

Геологические предпосылки создания геопарков на Среднем Урале

На Восточном склоне Урала получил известность проект геопарка «Самоцветная полоса Урала» (СПУ). Его создание даёт возможность для развития международного геотуризма. Геопарк объединит в единую систему геологические и минералогические объекты, ландшафт и культурно-историческое наследие. Следует отметить, что начало геопарку уже положено – в границах будущего геопарка создан в 1995 году природно-минералогический заказник «Режевской». Предполагается создание инфраструктуры в виде управляющих центров, приближенных к местам посещения (пос. Малышева, с. Черемисское, с. Мурзинка). Базовой единицей геопарка на Урале могут стать известные месторождения полезных ископаемых. Структура Геопарка определяется тремя минералогическими заказниками – Режевский, Мурзинский, Изумрудные копи (<http://uole.ru/TEXT/GEO.pdf>).

Уральский геолого-географический регион знаменателен тем, что именно здесь открыто первое в России золото и создана золотодобывающая промышленность. Первое в мире месторождение платины и первые алмазы также найдены на Среднем Урале. В окрестностях г. Перми находятся старинные разработки меди. На территории г. Верхнечусовские городки найдена первая

нефть в Волго-Уральском регионе. Уральский хребет является важным международным рубежом, разделяющим две важные части света – Европу и Азию (Копылов, Наумов, Наумова, Харитонов, 2015).

В 2018 г. в Перми (географический факультет ПГНИУ) проводились мероприятия по обсуждению организации геопарков на территории Пермского края.

Природно-геологическая характеристика Среднего Урала

Средний Урал относится к двум федеральным округам – Уральскому и Приволжскому, а в их границах – к Пермскому краю и Свердловской области (рис. 1).

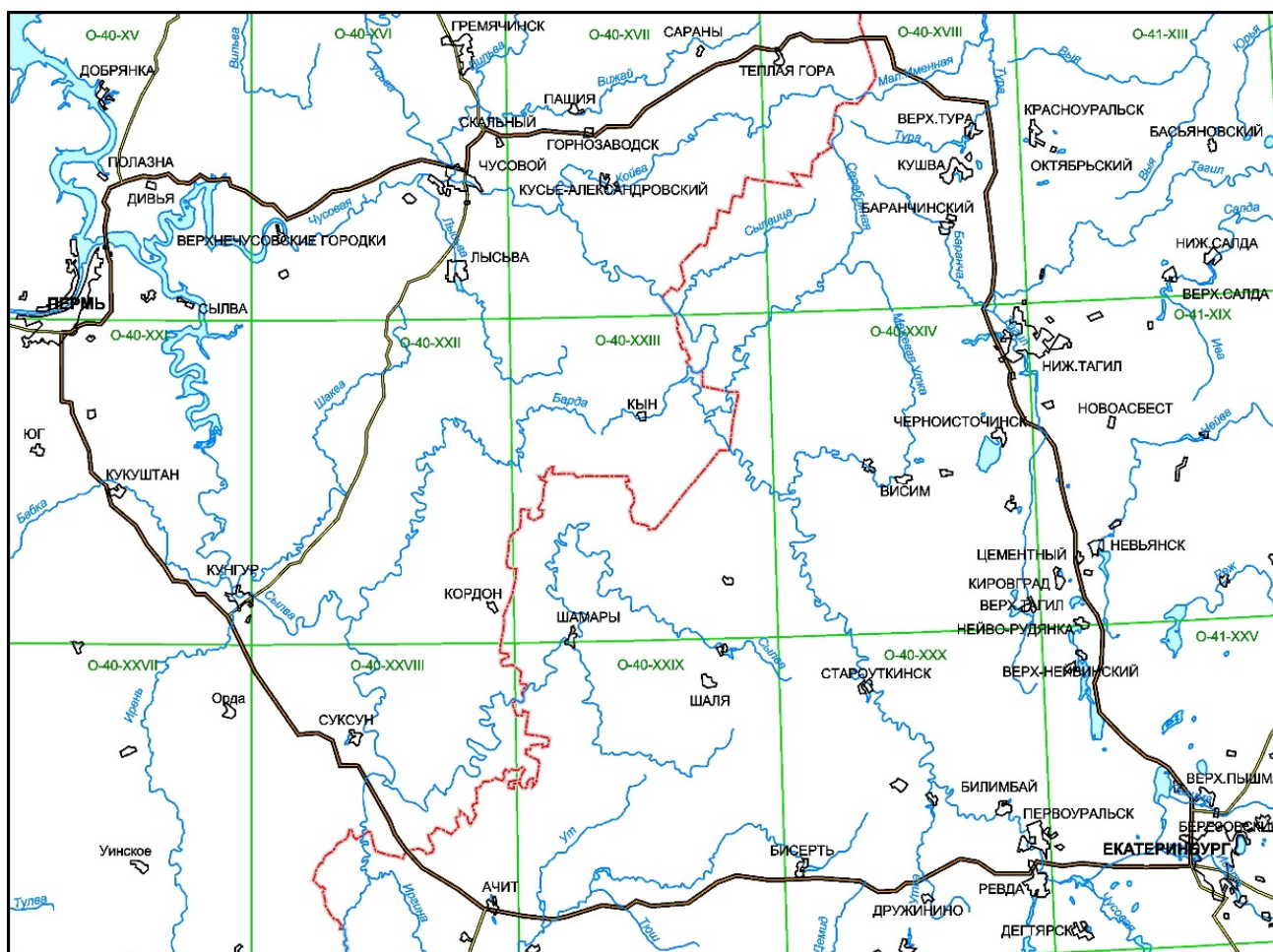


Рис. 1. Карта перспективного района для размещения геопарка на Среднем Урале (Копылов и др., 2015)

Основные геологические периоды образования: девон, карбон, пермь, триас (Копылов И.С., Коноплев, 2013) (рис. 2). Протяженность: около 400 км. Ширина: приблизительно от 25-30 до 100 км. Самые высокие точки – в разных вариантах: гора Средний Басег (994 м), или гора Ослянка (1119 м).

Климат – континентальный. Средняя температура января: -18°C . Средняя температура июля: $+18,5^{\circ}\text{C}$. Среднегодовое количество осадков: в восточной части – 400-500 мм, в юго-восточной – до 380 мм. В горах – до 700 мм.

Основные крупные природные объекты:

- горные хребты и массивы: Бардымский, Басеги, Веселые горы, Коноваловский увал;
- горы: Ослянка (1119 м), Юрма (1003 м), Качканар (887,6 м), Шунут-камень (762,5 м), Старик-камень (755 м), Широкая (751 м), Азов (589 м), Волчиха (526 м) и другие;
- скалы: Великан, Верблюд (на горе Качканар), Ермак, Каменный Город, Марков-камень, Чертово городище, Семь Братьев и другие;
- реки (порожистые, интересные для водного туризма): Акчим, Бабка, Вижай;
- озера: Большой Вагильский Туман, Малый Вагильский Туман;
- город Верхнечусовские Городки (первая нефть в Волго-Уральском регионе);
- пос. Промысла (первые в России находки алмазов);
- город Пермь (историческая архитектура русского промышленного поселения, старинные медные рудники и др.);
- город Невьянск (музей - наклонная башня);
- город Березовский (музей золота, Березовские золотые промысла)
- природные парки: «Река Чусовая», «Оленьи ручьи», «Бажовские места», природно-минералогический заказник «Режевский», заповедник «Басеги» (Атлас..., 2017; Геологические памятники Пермского края, 2009; <http://geosfera.org/evropa/russia/2116-sredniy-ural.html>).

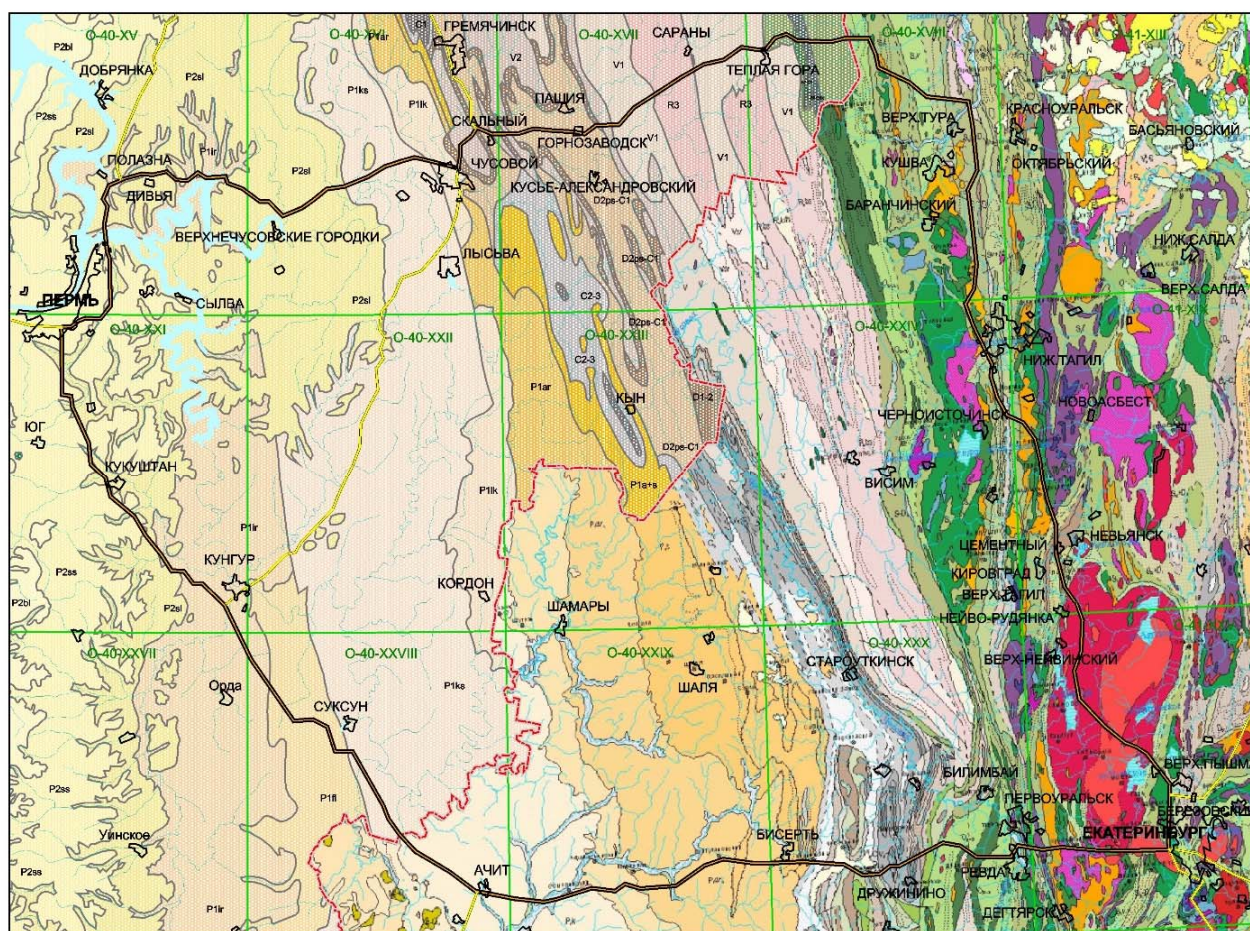


Рис. 2. Геологическая карта перспективного района для размещения геопарка на Среднем Урале (Копылов и др., 2015)

Таким образом, на Среднем Урале (Пермский край, Свердловская область) сложились предпосылки для организации крупных геопарков в целях развития геологического, природного, культурно-познавательного и научного туризма. Необходимости проведение исследований для научного сопровождения развития геопарков.

Библиографический список:

1. *Атлас* особо охраняемых природных территорий Пермского края / под ред. С. А. Буз-макова. Пермь: Астер, 2017. 512 с.
2. *Геологические памятники* Пермского края: Энциклопедия / под общей ред. И. И. Чайковского. Пермь: Книжная площадь, 2009. 616 с.
3. Колесникова Н. В., Хуусконен Н. М. Геопарки как основа развития горно-геологического туризма // Современные научные исследования и инновации. 2015. № 7. Ч. 3 (Электронный ресурс). URL: <http://web.snauka.ru/issues/2015/07/56109>.
4. Копылов И. С., Коноплев А. В. Геологическое строение и ресурсы недр в атласе Пермского края // Вестник Пермского университета. Геология. 2013. № 3 (20). С. 5–30.
5. Копылов И. С., Наумов В. А., Наумова О. Б., Харитонов Т. В. Золото-алмазная колыбель России / под общ. ред. В. А. Наумова; Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2015. 132 с.
6. Светов С. А., Колесников Н. Г., Колесникова Н. В. Предпосылки организации геопарков в республике Карелия // Современные проблемы сервиса и туризма. Т.10. №1. 2016. С.111-119.
7. Deng J., King B., Bauer T. Evaluating natural attractions for tourism // *Annals of Tourism Research*. 2002. Vol. 29. No. 2. P. 422–438.
8. Karkola V., Johansson P., Seurujärvi J. Golden Geopark of Lapland –Defining and Evaluating The Geological Sites // *European Geoparks Conference. September 3-6th. Book of Abstracts. Oulu, 2015. P. 27.*

НАНОЗОЛОТО НА ПОВЕРХНОСТИ РОССЫПНОГО МЕТАЛЛА

Представлены результаты исследования россыпного золота на основе методов электронной микроскопии высокого разрешения. На поверхности россыпного золота обнаружены частицы нанозолота и их агрегаты. По химическому составу их можно разделить на две группы: металлические и сложные соединения. Данные по агрегатам нанозолота на поверхности могут быть использованы для решения некоторых проблем металлогении.

Ключевые слова: нанозолото, электронная микроскопия, поверхность россыпного золота

B. M. Osovetsky

Perm State University, opal@psu.ru

NANOGOLD ON THE SURFACE OF PLACER METAL

The results of placer gold study on the basis of high resolution electron microscopy methods are presented. The nanogold particles and their aggregates on the placer gold surface are found. They may be subdivided into two groups on chemical composition: metallic and complex compounds. The data on nanogold aggregates on the placer gold surface may be used for decision some problems of metallogeny.

Key words: nanogold, electron microscopy, placer gold surface

В статье дается краткое обобщение результатов детального изучения поверхности зерен россыпного золота Урала, Сибири, Территории Юкон (Канада) с применением методов высокоразрешающей электронной микроскопии и микронзондового анализа. Использован сканирующий электронный микроскоп JSM 7500F (Jeol) с холодной эмиссией и JSM 6390LV (Jeol) с энергодисперсионной приставкой INCA ENERGY 350 (Oxford Instruments). Общее количество просмотренных под бинокулярным микроскопом зерен золота составило более 10 тыс., из них для электронномикроскопического изучения было отобрано около 500.

Основными результатами исследований являются обнаружение на поверхности россыпных золотин разнообразных нанодефектов (трещин, пор, борозд и т.д.) и присутствие наночастиц золота и их агрегатов (Осовецкий, 2012, 2013, 2016). Наиболее часто наночастицы золота, обычно округлой формы, иногда в виде тендемов и сростков нескольких наночастиц, неравномерно рассеяны на поверхности зерна россыпного металла. Нередко встречаются их наноагрегаты размером от 50 до 100 нм, состоящие из наночастиц золота крупностью порядка 10 нм (рис. 1). При этом их распространенность существенно различается у золота разных россыпных объектов при существенной роли формацион-

ного типа коренного источника. В частности, особенно много наночастиц металла на золоте, коренными источниками которого являются месторождения золото-сульфидной, полиметаллической и золото-сульфидно-кварцевой формаций. Другими важными критериями являются возраст россыпей, климатическая обстановка, развитие микроорганизмов и других сорбентов нановещества.

Для одного и того же объекта проявляется заметное различие в распределении наночастиц золота на поверхности разных зерен россыпного металла и даже в пределах одного и того же зерна. В частности, некоторые зерна почти не имеют наночастиц металла на поверхности, другие содержат их в большом количестве. Особенно наглядными являются данные по сканированию поверхности зерна, на котором имеются как пустые, так и покрытые наночастицами или наноагрегатами участки поверхности. Они свидетельствуют о том, что основной причиной неравномерного осаждения наночастиц золота на зерно россыпного металла является степень деформированности и дефектности его поверхности. В частности, особенно благоприятными местами для осаждения наночастиц золота являются микро- и нанодефекты поверхности – трещины, поры, борозды, а также налеты, пленки и т.д.

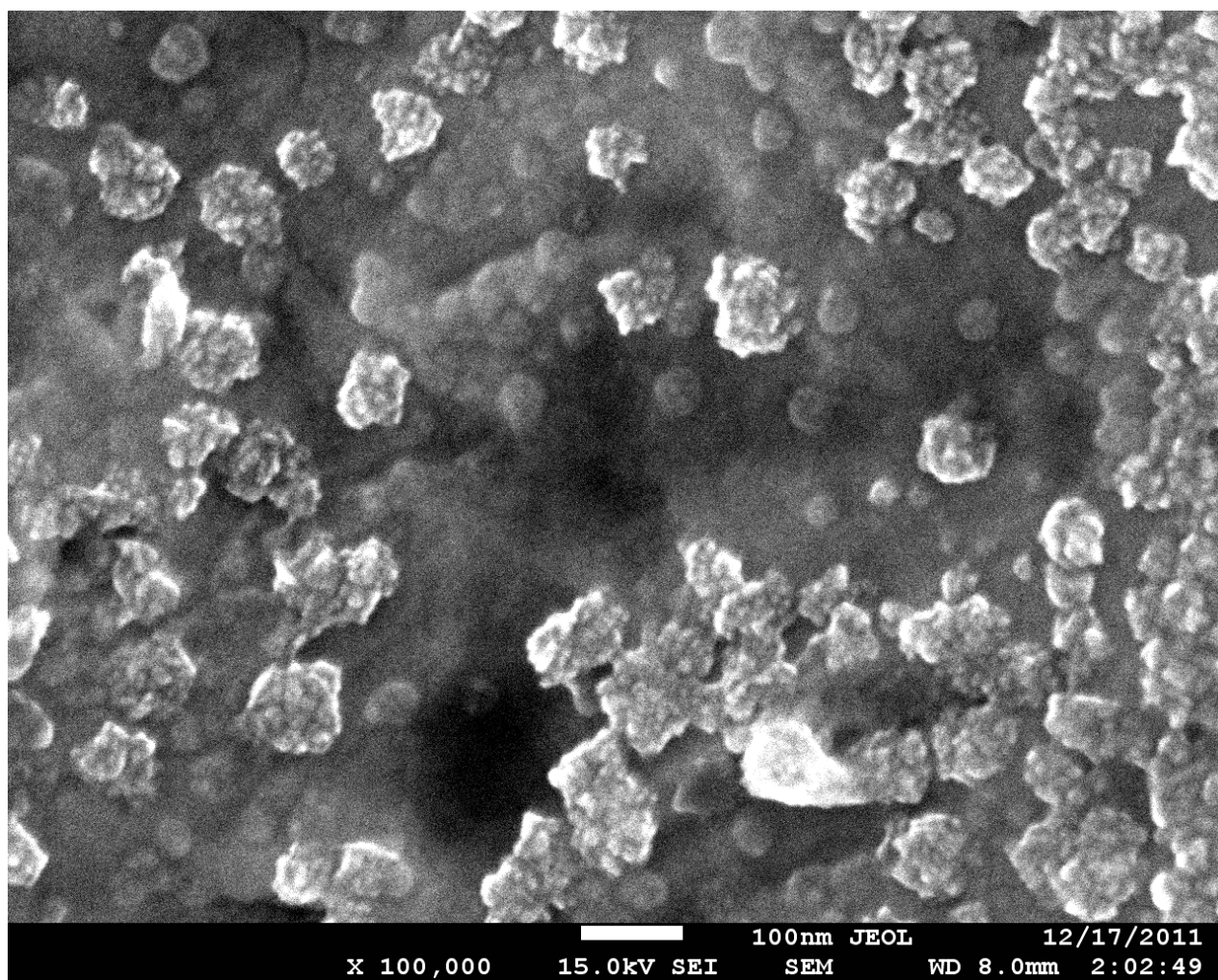


Рис. 1. Агрегаты наночастиц и наноагрегаты на поверхности золота Андреевской россыпи (Урал)

Наряду с рассеянными наночастицами и наноагрегатами, на поверхности зерен россыпного золота встречаются микроагрегаты размером до 50 мкм. Форма и микроструктура таких агрегатов чрезвычайно разнообразны. В частности, присут-

ствуют формы изометрического, уплощенного и удлиненного облика, а также комбинированные. Микроструктура агрегатов обычно гетерогенная и представлена сложными сочетаниями наночастиц и наноагрегатов золота, более крупных микрочастиц золота и их микроагрегатов, неструктурированного или кристаллического цементирующего вещества. Собственно наночастицы золота в составе агрегатов имеют игольчатую, палочкообразную, червеобразную, шестоватую, пластинчатую, листоватую и другие формы.

Наконец, на многих зернах россыпного металла описанные выше нано- и микроагрегаты золота образуют сплошные пленки, корочки, наросты, покрывающие всю или значительную часть поверхности россыпного зерна. Толщина таких корочек достигает нескольких десятков микрон. Корочки нередко пересекаются трещинами, в которых прослеживается слоистое строение наростов, обусловленное послойным отложением агрегатов наночастиц золота.

Химический состав новообразований на поверхности россыпного металла изучен микрозондовым методом в агрегатах размером порядка 1 мкм (диаметр электронного зонда). Обычно в их составе присутствуют от 10 до 20 наноагрегатов частиц золота и связующее их вещество. Отсюда следует, что результаты микрозондового анализа характеризуют средний химический состав агрегатов указанного выше размера. Систематика данных микрозондового анализа заслуживает специального рассмотрения, но в первом приближении агрегаты могут быть разделены на две группы: металлические и сложного состава. Среди металлических агрегатов присутствуют высокопробное золото, серебристое золото, электрум, медистое золото, ртутистое золото, амальгамы, интерметаллиды золота и меди, золота и олова, золота и свинца и др. (табл. 1).

Таблица 1. Химический состав металлических агрегатов на поверхности россыпного металла, мас. %

Элемент	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Au	95,79	87,67	61,25	88,43	66,85	92,02	65,09	55,82	53,79	42,93	58,84
Ag	-	8,45	34,27	-	-	0,25	0,88	1,41	4,43	3,87	3,07
Cu	0,64	0,89	0,58	10,02	20,98	0,26	0,22	0,62	0,68	1,06	0,97
Hg	-	-	-	-	-	6,67	26,99	3,37	3,39	3,81	11,29
Pb	-	-	-	-	-	-	-	2,48	28,08	47,66	3,69
Sn	-	-	-	-	-	-	-	25,53	-	0,31	5,39
Fe	1,51	1,43	0,87	0,13	1,11	-	1,19	5,16	1,27	-	0,60
Al	1,14	0,55	0,32	0,53	5,00	0,46	1,29	-	1,02	-	-
Si	0,93	-	0,19	0,23	0,71	0,04	1,83	1,14	2,80	-	-
Pd	-	-	-	-	-	-	0,30	0,30	0,73	0,36	0,62
Sb	-	-	-	-	-	-	-	0,87	-	-	13,78
As	-	-	-	-	-	-	-	0,29	-	-	-
Сумма	100,01	98,99	97,48	99,34	94,65	99,70	97,79	96,99	96,19	100,00	98,25

Примечания: 1 – высокопробное золото (Еловская россыпь), 2 – серебристое золото (то же), 3 – электрум (р. Сололи), 4 – медистое золото (р. Кулянда), 5 – интерметаллид AuCu (то же), 6 – ртутистое золото (Колчинская россыпь), 7 – амальгама (то же), 8 – интерметаллид золота и олова (Исовская россыпь), 9 – интерметаллид Au₂Pb (то же), 10 – интерметаллид AuPb (то же), 11 – ртутисто-сурьмянистое золото с Sn и Pb (то же).

Особенностью химического состава металлических агрегатов является его непостоянство в различных частях агрегата. При этом изменение химического состава сопровождается изменением и морфологии частиц. Особенно разнообразен химический состав агрегатов с участием ртути. При определении химического состава в поперечных разрезах одного и того же агрегата нередко устанавливается присутствие нескольких генераций новообразований, послойно налагающихся друг на друга (табл. 2).

Таблица 2. Химический состав генераций в составе агрегата на поверхности золота из отвалов Исовской группы россыпей, мас. %

Элемент	Россыпной металл	Агрегат на поверхности, генерация			
		1	2	3	4
Au	85,76	74,71	65,97	57,87	63,37
Ag	13,90	8,27	0,86	4,42	7,82
Cu	-	0,81	0,22	0,71	-
Hg	-	-	26,46	4,09	8,66
Pb	-	-	-	25,17	2,75
Fe	-	3,02	1,17	1,40	2,31
Al	-	2,71	1,26	0,87	3,18
Si	-	3,50	1,79	1,90	5,12
As	-	0,30	-	-	0,17
Pd	-	-	0,29	0,54	-
Сумма	99,66	93,32	98,02	96,97	93,38

Сопоставление данных о химическом составе металлических агрегатов на поверхности россыпного золота с таковыми для матричного металла показывает обычно существенное их различие с отдельными исключениями (табл. 3).

Таблица 3. Химический состав россыпного металла и металлических агрегатов на его поверхности, мас. %

Элемент	Еловская россыпь		Россыпь р. Куклянда				Исовская группа россыпей			
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Au	89,34	91,06	80,67	93,21	84,93	76,03	92,54	77,07	84,26	41,91
Ag	10,02	0,48	18,27	-	14,38	0,27	2,68	1,30	9,62	1,56
Cu	-	-	-	0,36	0,32	19,86	-	0,32	0,65	0,88
Hg	-	-	-	-	-	-	-	17,03	3,14	5,23
As	0,12	-	0,20	-	-	-	-	0,29	-	-
Fe	-	1,47	-	1,65	-	0,60	-	1,01	-	-
Al	-	1,49	-	1,49	-	1,46	-	0,88	-	-
Si	-	2,50	-	1,07	-	0,28	-	0,70	-	-
Pb	-	-	-	-	-	-	-	-	-	46,05
Sn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,51
Сумма	99,48	97,00	99,14	97,78	99,63	98,50	95,22	98,60	97,67	97,14

Примечание: 1 – матричное золото, 2 – металлический агрегат наночастиц

Для металлических агрегатов характерно почти постоянное присутствие в их составе литофильных элементов (Si, Al, Fe), хотя и в небольшом количестве (до 6 %). На россыпных зернах серебристого золота и электрума часто

присутствуют агрегаты с пониженным содержанием или даже отсутствием серебра. В то же время в составе многих агрегатов на поверхности россыпного золота характерными компонентами являются Cu, Hg, Pb, причем в значительных количествах. Это является одним из признаков принадлежности их к интерметаллидам, среди которых наиболее распространены следующие: AuCu, Au₃Cu, Au₃Hg, (Au,Hg)Pb, (Au,Hg)₂Pb, (Au,Hg)Pb₂. В то же время на золоте из отвалов уральских россыпей обнаружены интерметаллиды экзотического состава, в частности с высоким содержанием Pd и Hg.

Не менее распространены на поверхности россыпного металла агрегаты сложного химического состава, в которых в заметном количестве представлены литофильные элементы. Среди них наиболее часто встречаются золото-железистые агрегаты, которые отличаются характерными звездчатыми формами. Если принять во внимание вещественный контраст на электронномикроскопических изображениях, то можно сделать вывод о том, что нанозолото здесь представлено игольчатыми выделениями толщиной порядка 10 нм (рис. 2).

Менее распространены золото-кремнеземистые и золото-глиноземистые агрегаты. На поверхности золота черносланцевых формаций предполагается присутствие золото-углеродистых агрегатов. Суммарная доля золота и серебра в составе агрегатов сложного состава колеблется в очень широких пределах – от 5 до 75 %, из других металлов часто присутствуют Cu, Hg, As, Sb, Sn, Pb, Pd. Характерно присутствие во многих агрегатах хлора в количестве обычно менее 1 %, иногда до 5 %.

Кроме того, изредка встречаются необычные по химическому составу агрегаты, состав которых свидетельствует об участии многих других элементов в их формировании. Например, на поверхности зерен золота россыпи р. Куклянда (Сибирь) обнаружены агрегаты с высоким содержанием титана (более 30 %) и повышенным (более 5 %) марганца. В одном из агрегатов на поверхности золота Екатерининской россыпи (Урал) обнаружено повышенное содержание серы (около 8 %), которое коррелируется с высоким содержанием серебра (более 53 %), что позволяет предположить присутствие в его составе новообразованного аргентита.

Основные выводы, которые могут быть сделаны на основе обобщения результатов изучения распространенности, морфологии и состава многочисленных наростов на поверхности россыпного золота, имеют как теоретическое, так и определенное практическое значение. В теоретическом плане результаты исследований позволяют косвенно подтвердить предположение многих исследователей о том, что основной формой нахождения нанозолота в осадочных породах является рассеянное состояние в виде одиночных изолированных наночастиц. Рассеянию нанозолота способствуют такие факторы как: полное отсутствие влияния гравитационных процессов, поглощение его коллоидными растворами, сорбция различными веществами, особенно железистыми, кремнеземистыми, глиноземистыми и углеродистыми, высокая химическая активность и т.д.

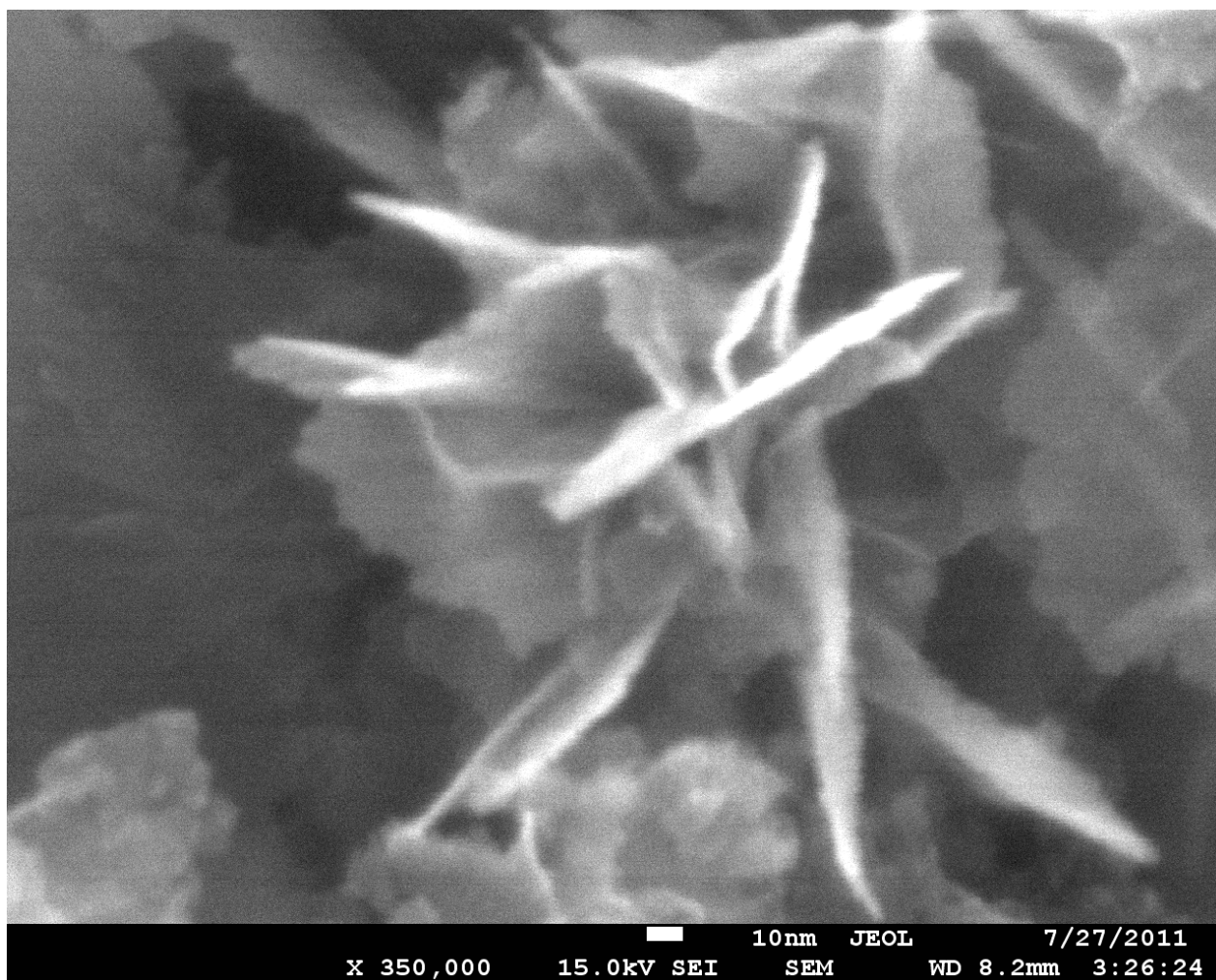


Рис. 2. Золото-железистый агрегат на поверхности золота россыпи Территории Юкон (Канада)

Повсеместное присутствие наночастиц золота на поверхности зерен россыпного металла является одним из характерных проявлений массового рассеяния металлического нановещества в осадочной оболочке Земли. Аналогичный процесс характерен также для тонкого и пылевидного металла, который обычно присутствует в россыпях в незначительном количестве, хотя в породах коренного источника он существенно преобладает. Тем не менее, тонкий и пылевидный металл в исключительных случаях образует значительные концентрации, которые установлены, например, в прибрежно-морской россыпи Ном.

Более важным для поисковой практики является практическое значение полученных результатов, которое заключается в предположении о том, что в определенных геологических обстановках нанозолото так же способно концентрироваться, как и пылевидное.

Одним из доказательств возможности массового осаждения наночастиц золота в осадочных обстановках является присутствие на поверхности россыпного металла новообразований микроразмерных частиц (до 50 мкм), а также корочек и наростов, которые представляют собой агрегаты металлического нановещества. Последние можно считать результатом проявления одного из механизмов концентрации нанозолота, который может приводить к заметному увеличению

массы частиц золота, в отличие от процесса рассеяния. В связи с этим необходимо вспомнить, что среди россыпников на протяжении многих лет ведется дискуссия о доле «нового» золота в увеличении запасов россыпного металла. Некоторые из них подчеркивают, что для древних россыпей эта доля весьма существенна (Попенко, 1982). В частности, для ряда погребенных россыпей и древних отвалов, вероятно, существенное влияние имеют условия, способствующие высвобождению наночастиц золота из минералов коренного источника и массовому осаждению нанозолота на поверхность россыпного металла (Осовецкий, 2013, 2016). К этим условиям относятся присутствие в источниках питания россыпи минералов-концентраторов нанозолота, благоприятная климатическая обстановка в период россыпеобразования и др.

Кроме того, нанозолото способно концентрироваться в осадочных породах за счет агрегации наночастиц под влиянием сорбционных процессов и микроорганизмов. Исследование природных процессов миграции и концентрации нанозолота показало, что активными сорбентами нанозолота являются соединения железа и кремнезема, глинистое и углеродистое вещество, а также природная и техногенная ртуть. Отсюда возможно существование фациальных обстановок и геохимических барьеров для массового осаждения наночастиц благородного металла в железистых, кремнеземистых и глиноземистых породах. Для выявления новых типов рудопроявлений с нанозолотом в этих породах необходимо разработать специальную методику, учитывающую минерагенические и литолого-фациальные критерии золотоносности объектов, способы опробования и лабораторной обработки проб, методы аналитического сопровождения. В качестве первоочередных объектов для исследования могут быть золото-ртутистые и золото-углеродистые формации (Наумов, Осовецкий, 2013; Осовецкий, 2013).

Большую помощь могут оказать экспериментальные исследования процессов осаждения нанозолота из истинных или коллоидных растворов с использованием различных сорбентов (Волкова, Осовецкий, 2016). В частности, зарубежные ученые большое внимание уделяют экспериментам с участием различных видов микроорганизмов. После накопления достаточной информации эксперименты из лабораторных условий необходимо перенести в геологическую среду.

Немаловажное значение имеет совершенствование аналитических методов при изучении золотоносности объектов. Особенно актуальной становится задача определения доли нанозолота в общих запасах металла для месторождений с весьма мелким, тонким и пылевидным золотом. В настоящее время собственно наноразмерное золото при разработке таких объектов не извлекается, но его агрегаты вполне доступны для извлечения. Вероятно, многие рудопроявления с тонким золотом в настоящее время находятся на грани установленных нормативных показателей для промышленных объектов, и для них доля нанозолота может оказаться достаточно существенной.

Наконец, изучение природных процессов концентрации нанозолота в сочетании с экспериментальными исследованиями может быть использовано при совершенствовании современных промышленных технологий разработки месторождений с т.н. «невидимым» металлом. В частности, технологи активно рабо-

тают над проблемой дезинтеграции руды, что позволило существенно повысить долю извлечения золота крупностью до 1 мкм из железных руд (до 90 %). Одним из основных технологических решений в этом отношении может быть разработка способов искусственного укрупнения частиц металла (некоторые из них в настоящее время применяются для микронного золота) за счет стимулирования процессов агрегации наночастиц золота. При достижении агрегативных размеров микронного диапазона они могут стать доступными для извлечения современными технологиями.

Библиографический список:

1. Волкова М. А., Осовецкий Б. М. Экспериментальное моделирование процессов образования «нового» нанозолота // Геология и полезные ископаемые Западного Урала. 2016. С. 50–54.
2. Наумов В. А., Осовецкий Б. М. Ртутистое золото и амальгамы в мезозой-кайнозойских отложениях Вятско-Камской впадины // Литология и полезные ископаемые. 2013. № 3. С. 256–273.
3. Осовецкий Б. М. Природное нанозолото. Пермь: Перм. ун-т, 2013. 176 с.
4. Осовецкий Б. М. «Новое» золото. Пермь: Перм. ун-т, 2016. 116 с.
5. Попенко Г. С. Минералогия золота четвертичных россыпей Узбекистана. Ташкент: Изд-во «ФАН», 1982. 144 с.

А. Г. Попов

ПГНИУ, p11p@mail.ru

АЛМАЗЫ УРАЛА: КРАТКОЕ ОБОБЩЕНИЕ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ИЗУЧЕНИЯ И РАЗРАБОТОК

Статья содержит краткое изложение геологического изучения и разработки месторождений уральских алмазов. Дана краткая история развития добычи и разведки алмазов на Урале. Приведена новая гипотеза уральских месторождений алмазов. Обобщены ресурсы алмазов Урал по данным государственных геолого-съёмочных работ.

Ключевые слова: алмаз, разведка, добыча, ресурсы алмазов, Урал, Пермский край

A. G. Popov

Perm State University, p11p@mail.ru

DIAMONDS OF THE URALS: GENERALIZATION OF GEOLOGICAL STUDY AND DEVELOPMENT

The article contains a brief summary of the geological study and development of the Ural diamonds. The history of diamond development and the diamonds production schedule in the Urals are presented. A new hypothesis about the Ural diamond deposits is being criticized. The article presents the undisclosed resources of Ural diamonds according to the results of geological mapping.

Key words: diamond, exploration, mining, diamond resources, Urals, Perm region

В 1829 г. был найден первый алмаз на Урале, и только через 109 лет при советской власти началось геологическое изучение недр с целью поисков месторождений алмазов. В 1938 г. по инициативе Александра Петровича Бурова

и по распоряжению Геологического комитета СССР были организованы геологические поисковые партии. В 1941 г. на Урале разрабатывалось единственное месторождение алмазов в то время в нашем отечестве, разведанное Н.П. Вербицкой, – аллювиальная россыпь р. Полуденки, недалеко от того места, где был найден первый алмаз. Разработка россыпи проводилась под руководством Теплогорского управления. В 1946 г. приказом МВД СССР № 001006 от 14.11.1946 г. «О развитии отечественной алмазной промышленности» Теплогорское алмазное поисковое управление было реорганизовано в Уральское управление по добыче алмазов «Уралалмаз» (Прииск) МВД СССР. Так началась российская алмазодобывающая отрасль промышленности. В 1955 г. Советом Министров СССР было принято постановление «Об усилении поисковых и геологоразведочных работ на алмазы, в целях создания сырьевой базы для развития отечественной алмазоносной промышленности». В результате усилий на Среднем Урале были разведаны основные месторождения алмазов. Первоначально разрабатывались только россыпи высоких террас и логов экскаваторным способом. С 1958 г. началась дражная разработка тремя 150-и литровыми драгами. Годовая производительность составляла 1,5 млн. м³ песков в год. К середине 60-х гг. разработка россыпей Среднего Урала была прекращена. Остались не тронутыми россыпи высоких террас, ложковые россыпи и недоразведанные россыпи. В 50-60-х гг. XX века были разведаны россыпи Северного Урала с более высокими содержаниями и запасами. Дражный флот прииска был переведен на Северный Урал, а в поселке Алмазном на р. Вишеры была смонтирована новая драга. Производительность по пескам была увеличена втрое. Это не смотря на то, что с 1957 г. большая часть геологов-алмазников переехала в Сибирь на поиски коренных месторождений алмазов. Пик добычи алмазов Урала пришелся на 1960-70 гг. (рис. 1) (21). Добыча алмазов просуществовала 69 лет.

Сначала геологи разведывали только аллювиальные плейстоцен-голоценовые россыпи алмазов. Но в 1964 г. А.Д. Ишков, а затем в 1974 г. Г.Д. Мусихин установили промышленные содержания алмазов в девонских гравелитах и конгломератах. До этого находки алмазов были в конгломератах и гравелитах ордовика и силура. Эти древние россыпи получили название как «промежуточные коллектора алмазов». В 1988 г. В.А. Кириллов разведал делювиальную неоген-плейстоценовую россыпь алмазов, погребенную под ледниковыми осадками, – месторождение Волынка. Впоследствии такие россыпи стали называть «мезокайнозойскими карстово-эрозионными структурно-тектоническими депрессиями». Первоначально генезис новой россыпи был определен как террасовая россыпь. Геологам-разведчикам хорошо известно не писаное правило – разведка месторождения заканчивается после его разработки. Так и с месторождением Волынка. В процессе его разработки и по окончании стало понятно, что месторождение Волынка являлось делювиальной россыпью, образовавшейся за счет размыва девонского промежуточного коллектора алмазов, расположенного параллельно месторождению на удалении в один километр западнее. Причем, обогащение алмазами происходило по древним палеологам и, разведочную сеть надо было ориентировать в крест их развития, а не в крест простираения отло-

жений несуществующей террасы. Затем были разведаны иные месторождения депрессий (северная и южные части Рассольнинской и Вогульской депрессии).

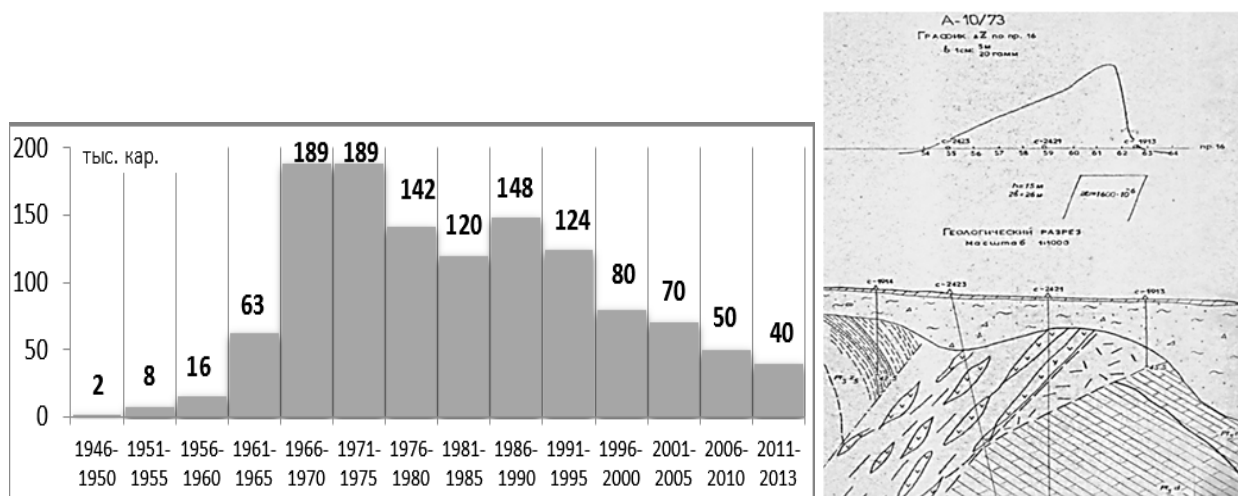


Рис. 1. Слева – добыча алмазов в среднем по пятилеткам (21), Справа – одна из магнитных аномалий с выходами пикритов

К 70-м гг. на территории Пермского края действовало три геологоразведочных партии: Вишерагеология, Яйвагеология и Горнозаводскгеология, успешно справляющиеся со своими задачами. В 60-х гг. сдавалось по 4 геологических отчета в год по поискам и разведки месторождений алмазов и дополнительно различные отчеты тематических работ по алмазной тематике. Работы по поискам и разведке коренных месторождений алмазов проводились ограничено. В 70-х гг. проведены работы, заключающиеся в геофизических исследованиях с установлением магнитных аномалий. Было выяснено, что часть магнитных аномалий отвечает алмазоносным отложениям депрессий с магнитными гидроокислами железа. Иные магнитные аномалии оказались связаны с пикритами, тела которых были установлены при разбуривании (рис. 1). Эти тела геологи отнесли к пикрит-эссекситовому магматическому комплексу кембрий-ордовикского возраста, названным красновишерским комплексом. По сути пикриты комплекса являются сохранившимися до современного времени реликтами затухающей фазы кимберлитового протерозойского магматизма (10; 15).

В 2003 г. Институтом минерального сырья УрО РАН были проведены магнитометрические исследования по Северной части Рассольнинской депрессии. В результате были установлены две аномалии, интерпретируемые, как диатремы, но глубокое бурение по ним не проведено.

В 2001 г. по Вишерскому алмазоносному району был проведен комплекс аэромагнитной и гаммаспектрометрической съемки масштаба 1:25000 (интерпретированной в 2006 г.). Часть аномалий подтвердились. Так же были установлены новые аномалии, но полностью они не изучены. Неполная изученность аномалий объясняется простой причиной – необходимостью разведки реальных объектов, которыми являлись россыпи.

В 90-е гг. добыча алмазов стала сокращаться, а геологоразведочные партии были ликвидированы. В это время в среде пермских геологов появилась гипотеза о новом генетическом типе месторождений алмазов.

Известная генетическая классификация месторождений алмазов включает в себя эндогенные месторождения магматические пород (кимберлиты и лампроиты), экзогенные месторождения (россыпи), метаморфические месторождения (гнейсов Кудымкольского месторождение Казахстана) и импактные месторождения (Попигайская астроблема). Основным источником ювелирных алмазов являются кимберлиты и лампроиты – щелочно-ультраосновные породы древних платформ, образующие преимущественно трубообразные тела, диатремы, дайки, жилы, реже силлы, «рудные» столбы, пластовые тела, сопровождающие трубки и линзы (6; 22-24). Добавочным источником ювелирных алмазов служат россыпи. Метаморфические и импактные месторождения являются источниками технических алмазов. На Урале были установлены только россыпи алмазов, без коренных магматических месторождений.

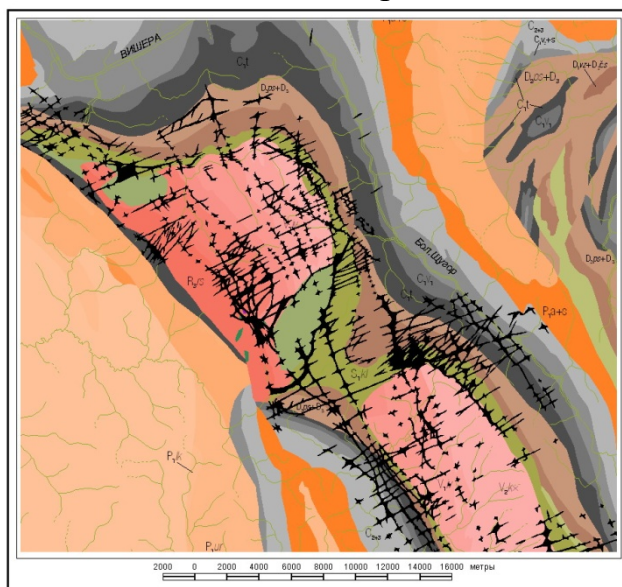


Рис. 2. Туффизиты (черный цвет) Вишерского алмазоносного района Полудово-Колчимского антиклинория

Предложенный гипотетический тип коренных месторождений алмазов Урала связали с так называемыми «туффизитами». Определение термина «туффизит», как такового не существует, в классификации горных пород «туффизит» отсутствует. Термин был предложен Клоосом в 1941 г. для обозначения некоторых метасоматитов образовавшихся под воздействием газа. Часто «туффизитами» называют породы кратерной фации кимберлитов (туфы или туфобречии). Некоторые геологи предполагают под этим термином породы, образовавшиеся под воздействием газа и раскаленных частиц. Но в классификации пород есть понятие туф и туффит. По Петрографическому кодексу термин «туффит» предложено применять к осадочно-вулканокластической породе, в которой магматический материал составляет от 50 до 90-95 %. Согласно международной петрографической классификации (IUGS), туффиты содержат от 25 до 75 % осадочного материала. Термин в виде прилагательного «*tuffitic*» по IUGS используется

для отложений, содержащих менее 25 % вулканических фрагментов. Авторы туффизитовой гипотезы уральских месторождений алмазов под алмазоносными туффизитами понимают «*флюидизитно-эксплозивные (интрузивно-пирокластические) производные расплавов кимберлит-лампроитового ряда, формирующиеся в верхних частях флюидо-магматических колонн в результате декомпрессионного вскипания и дегазации магм ...*» (3; 18-20). Однако к туффизитам были отнесены любые породы без лимитирующих параметров химического и минералогического составов: милониты, катаклазиты, метасоматиты, коры выветривания (линейные и площадные), суффозионные, криогенные, со-лифлюкционные, образования связанные с течением отложений по склону, а также палеоген-неогеновые рыхлые отложения, слагающие приплотиковые части разреза депрессий. Причем картировались такие «образования» в виде геологических полей (рис. 2). Первоначально эти «образования» были названы, как лампроитоидный комплекс, состоящий из туфов, конглобрекций эксплозивного дробления, редкопорфировых оливиновых лав, щелочных пород типа лейцитита, щелочных сиенитов, доломитизированных аполав, разнообразных мегапластов магматических и осадочных пород в виде сложных ветвящихся тел, даек, силл, жил и штоков с апофизами. Возраст этих образований был предложен, как нижне-среднекаменноугольный, т.е. когда на Западно-Уральской зоне складчатости магматическая активности отсутствовала.

Такая трактовка горной породы, с которой увязали месторождения алмазов Урала, заставило внести в Петрографический кодекс понятие – флюидизитов – специфических образований связанных с декомпрессионными эксплозиями флюидов (5). Вообще понятие флюид (текучий) это некое наследие от алхимии. Хотя есть порода названная «текучим камнем» – риолит. В природе существует три состояния вещества, не считая плазмы. Флюид в физике – это некое переходное состояние жидкость-газ, «сверхкритическая жидкость» с высокой плотностью близкой к жидкости, низкой вязкостью и отсутствием поверхностного натяжения.

В геологии флюид – это жидкая, газовой-жидкая или газовая *среда*, образованная летучими компонентами (H_2O , CO_2 , CO , N_2 , H_2 , CH_4 и др. углеводородами) в соединении с петрогенными, рудными и иными элементами. (5). По большому количеству определений в состав флюидов (газов магмы) входят – H_2O , CO_2 , CO , O_2 , H_2 , S , SO_2 , H_2S и в количестве менее 1 % – N , B , Cl и F . Причем 80 % мантийных газов составляют H_2O , CO_2 , в основном H_2O (IUGS). Алмаз образуется в мантии на глубинах 150-450 км при температуре 100-1400°C и давлении 5-6,5 ГПа. Транспортёрами алмаза на поверхность являются кимберлиты и лампроиты, внедрение которых происходит в виде даек, переходя к поверхности в трубки. Внедрения происходят на кратонах с уточненной континентальной корой. H_2O , CO_2 начинают играть роль с глубин 3-1,5 км при падении давления до 100 мПа с резким увеличением объема за счет перехода жидкости в пар. С этих глубин дайки формируется в трубку и кимберлит со скоростью до 400 м/с устремляется вверх (4; 22; 23; 25). Вопрос внедрения кимберлита на кратонах остается загадкой (м.б. просто на платформах кимберлит скрыт чехлом, а в складчатых областях смят в складки и погреб-

бен под надвигами и шарьяжами). Алмазосодержащие породы имеют характерные признаки, присущие только им – лимитирующие составы породообразующих минералов и химических элементов, ксенолиты глубинных пород, щелочность с преобладанием К над Na, высокое содержание микроэлементов, специфические главные минералы и акцессорий и пр. Флюидизиты, как и туффизиты не имеют породных признаков и отнесение их к геологической породе, тем более к породам источникам алмазов весьма проблематично. Так, даже вопрос о внедрениях кимберлитов и лампроитов, не смотря на громадное количество фактического материала и хорошей геологической изученности, до конца не решен, не смотря на предположение считать флюидизиты источниками алмазов Урала. К примеру, флюидизитами можно считать термальные воды с температурой до 120°, не имеющие отношение к алмазам.

Основные месторождения алмазов Урала составляют россыпи трех групп. I группа – аллювиальные плейстоцен-голоценовые россыпи. II группа – делювиальные и деллювиально-аллювиальные россыпи неоген-плейстоценовых отложений депрессий. III группа – палеозойские россыпи (промежуточные коллектора) (7-16) (рис. 3).

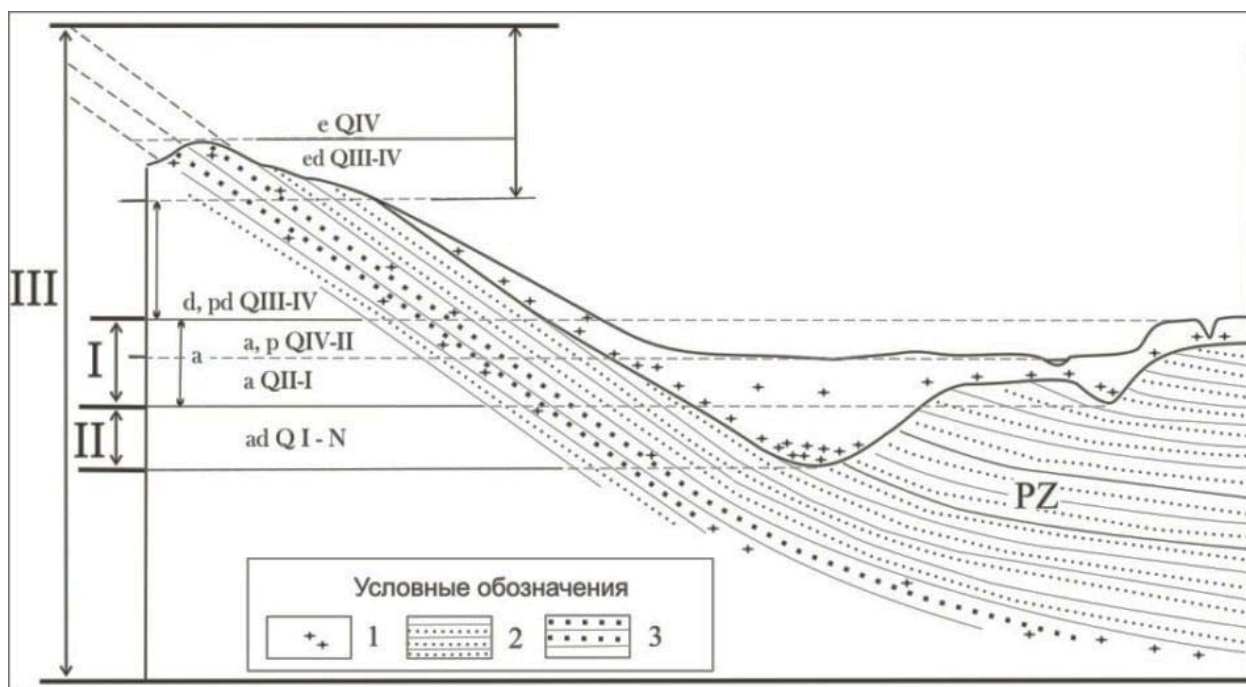


Рис. 3. Геологическая модель россыпных месторождений алмазов Урала. Условные обозначения: 1 – алмазы, 2 – песчаник, 3 – гравелит, конгломерат

Элювиальные и элювиально-делювиальные россыпи на Урале не установлены. На склонах сформировались ложковые россыпи пролювиально-делювиальных отложений верхнего плейстоцена и голоцена (pd Q III-IV). По гипсометрическому уровню 300 абс. м над уровнем моря формировались основные аллювиальные россыпи алмазов Урала (россыпи I группы) (7-13; 15-17; 27). В состав аллювиальных россыпей вошли россыпи террас и ложковые россыпи, образовавшиеся за счет размыва террас. С уровня переуглубленных плейстоценовых долин до уровня неогенового палеорельефа образовывались россыпи депрессий (россыпи II группы – Волынская, Вогульская, Рассольнин-

ская депрессии). Россыпи промежуточных коллекторов зафиксированы по выходам кластических толщ с алмазами (Ишковский участок, Силурийский прогнозный участок). Были установлены два месторождения алмазоносных туффизитов – Ефимовское и Рыбьяковское. По сути Ефимовское месторождение является россыпью промежуточного силурийского коллектора алмазов россыпью III группы (рис. 4), а Рыбьяковское месторождение – делювиальной, делювиально-аллювиальной россыпью депрессии, россыпью II группы (рис. 3).

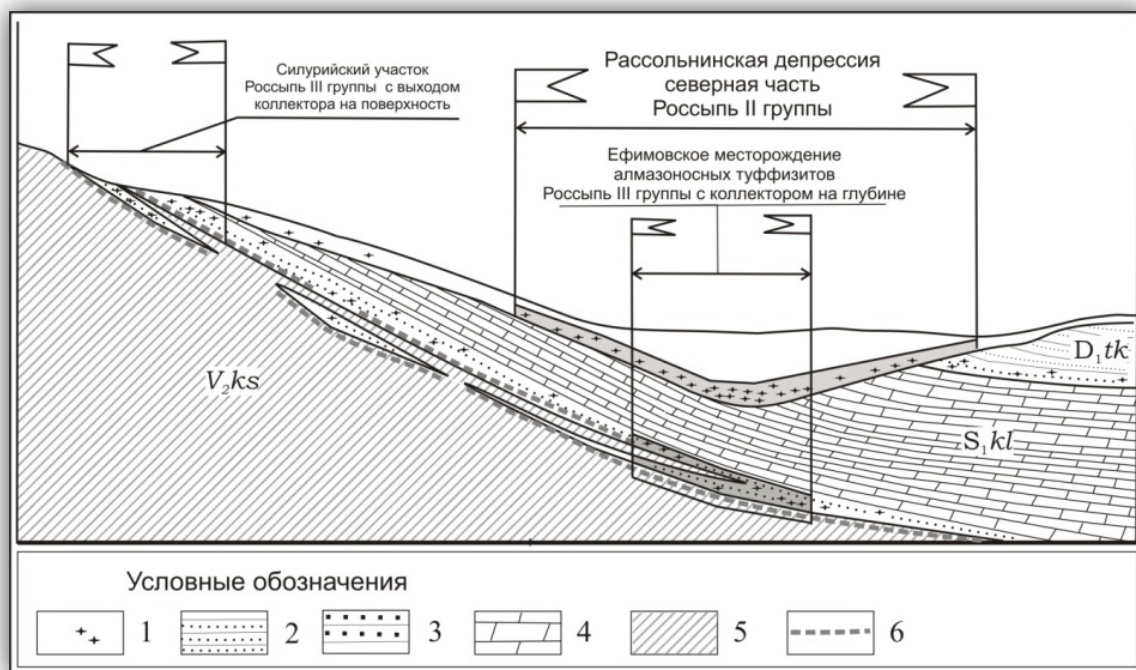


Рис. 4. Геологическая модель россыпных месторождений алмазов: Рассольнинская депрессия, Ефимовское месторождение алмазоносных туффизитов и Силурийский участок. Условные обозначения: 1 – алмазы, 2 – песчаник, 3 – гравелит и конгломерат, 4 – доломит, 5 – алевроаргиллит, 6 – надвиг.

Запасы алмазов уральской россыпи в среднем составляют 100-200 тыс. карат (7-13; 15-17; 27), среднее содержание алмазов – 0,05-0,55 карат/м³ (не превышает 0,75 карат/м³), средняя масса алмаза промышленных россыпей 0,7-1,0 карат, алмазы хорошо отсортированы, ювелирного качества в количестве 70-80 %. Увеличение содержания и массы алмазов наблюдается к Вишерскому алмазоносному району к Полудово-Колчимскому антиклинорию (Колчимскому клиппу). Увеличение запасов до 400 и более тыс. карат с максимальными установленными запасами до 1 млн. карат по р. Бол. Колчим так же происходит в направлении Вишерского алмазоносного района. Алмазы всех россыпей однотипны, так называемые уральские алмазы. Запасы Ефимовского туффизитового месторождения не превышает 70 тыс. карат, Рыбьяковского – 130 тыс. карат.

Основным обобщением геологического изучения по поискам являются геолого-съёмочные и геолого-картографические работы. По Государственной геологической карте листа О-40 (2) пикриты красновишерского комплекса отнесены к кусьинско-красновишерскому комплексу с омоложением возраста его внедрения по одной пробе взятой из плагиоверлитов (ультраосновной породы

нормального ряда) Центрально-Уральского поднятия (ЦУП). Возраст 6 цирконов верлита составил 390-334 млн. лет (D_2-C_1). Кроме того возраст комплекса определен по 3 пробам габброидов и сиенитов Хмелевского массива открытым Б.С. Суловым в 2007 г. Возраст составил 394-337 млн. лет (D_2-C_1). По авторам возраст комплекса отвечает дайковым внедрениям габбро и долеритам усьвинского (лыпинского) комплекса. Однако, отнесение красновишерского комплекса к кусьинскому комплексу и омоложение его не очень логично. Во первых, пикриты красновишерского комплекса выходят на Полюдово-Колчимском антиклинории (Колчимском клиппе) Западно-Уральской зоны складчатости (ЗУЗС) в поле пород рифея и венда, т.е. – в иной структурно-тектонической позиции. Во вторых, дайки усьвинского (лыпинского) комплекса образуют непрерывный рой с плотностью до 10 и более даек на 100 км² на ЦУПе. По наличию даек можно картировать ЦУП. На Колчимском клиппе площадью 250 км² и Ухтымском клиппе (расположенным северо-западнее Колчимского клиппа и являющимся его аналогом) площадью 650 км² даек и иных проявлений магматизма, кроме красновишерских пикритов нет.

Авторы геологической карты листа О-40 предложили тело кимберлитов в междуречье Чикмана и Чаньвы на границе ЗУЗС и ЦУП, в поле развития венда. По сути, к кимберлитам отнесено тело благодатского пикрит-трахиобазальтового комплекса венда. Комплекс был выделен А.И. Зильберманом по геолого-съёмочным работам 1971 г. Этот комплекс переименован в чикманский кимберлит-лапроитовым комплексом возрастом 320-385 млн. лет (D_2-C_1). Необходимо отметить, что ранее и севернее листа О-40 авторы выделяли полюдово-ксенофоновский лампроитовый комплекс (туффизитов, флюидизитов) ранне-среднекаменноугольного возраста (C_{1-2} (рис. 2)). Авторы геологической карты листа О-40 из промежуточных коллекторов алмазов указали только один – нижнедевонский (такатинская свита – D_{1tk}). Хотя давно известны находки алмазов в ордовике и силуре, да и Крестовоздвиженская россыпь, где был найден первый алмаз, связана с кластической толщей ордовика.

По Государственной геологической карте листа Р-40 (1) красновишерский пикрит-эссекситовый комплекс оставлен без изменения. Возраст его по Ныробской дайке 668 млн. лет, по интрузиям Колчимского клиппа – 438-480 млн. лет (RF_3-S_1). Возраст, принятый по легенде, – поздневендско-ранкембрийский ($V_2- \epsilon_1$). К промежуточным коллекторам алмазов отнесены кластические толщи кембрия (картируемая ранее, как раннеордовикская полюдовская свита – $O_1 pl$), раннего силура, колчимская свита ($S_1 kl$), раннего девона (россыпь такатинской свиты – $D_1 tk$, месторождение Ишковский участок), среднего девона (проявления Осень и Ручкуель чибьюкской свиты – $D_2 cb$, расположенные на возв. Жежимпарма между рр. Пожег и Вычегдой). Однако иные толщи ордовика с находками алмазов так же, как и авторами геологической карты листа О-40, не учтены. Кстати немые кластические толщи ордовика возв. Помяненный Камень авторы отнесли к кембрию. Ранее эти толщи относились к ордовику, а еще ранее к кембрий-ордовикскому возрасту. Отнесение ордовика к кембрию предполагает ордовикский перерыв в осадконакоплении, которого на данной широте Урала не было, в отличие от кембрийского перерыва в осадконакоплении.

Прогнозные ресурсы алмазов территории листа Р-40 категорий P_3+P_2 оценены в 15,15 млн. карат, в т. ч. категории P_2 в 1,31 млн. карат (табл. 1) (1).

Ресурсы несколько завышены. Так по В.И. Марусину (2000) прогнозные ресурсы Вишерского алмазоносного района категории P_2+P_1 составляют 7105 тыс. карат, в т. ч. ресурсы категории P_1 оценены им в 401 тыс. карат. Ресурсы рассчитаны прямым счетом только по россыпям рек и депрессий. Суммарные ресурсы по промежуточным коллекторам никогда не оценивались.

Таблица 1. Прогнозные ресурсы алмазов территории листа Р-40 (1)

Минерагенический узел или район	Ресурсы алмазов проявлений, тыс. карат	
	коренных	россыпных
Полюдово-Ксенофонтовского лапроитоидный	3500	
Щугорско-Верхнепечёрский		2000
Красновишерский		3150
Предтиманский	6500	
Итого		
Итого коренных и россыпных алмазов	15150	

Оценка проведена только по отдельным объектам. Так ресурсы алмазов девонского коллектора Ишковского участка категории P_2 составляют в 110 тыс. карат. В 2010 г. Прииском были оценены прогнозные ресурсы силурийского коллектора категории P_1+P_2 в 600 тыс. карат. А в 2013 г. Прииском только на небольшом участке в 0,03 км² были разведаны запасы алмазов девонского коллектора (Сухая Волынка) в количестве 11 тыс. карат с продуктивностью 0,4 карата на 1 м³ при мощности песков в 3,5 м. Оценивать же ресурсы коренных месторождений вообще чрезвычайно спекулятивно. Кстати, некоторые магнитные аномалии Вишерского района остались не проверенными (рис. 5). На рисунке группа аномалий под номером 13 отвечают установленным пикритам красновишерского комплекса, группа аномалий под номером 10 вызвана магнитными гидроокислами железа алмазоносных отложений депрессии (месторождение Волынка). Аномалии 1; 3 и 9 – техногенные. Аномалии 5 и 6 – погребены под отвалами вскрыши. Непроверенные аномалии, представляющие интерес – 2; 4; 7; 8; 11; 12 и 14. Аномалия 7 скорее всего отвечает отложениям террас или депрессий с магнитными гидроокислами железа не проверенными на алмазы. Аномалии 2; 8 и 12 предположительно связаны с незаверенными магматическими телами. Наибольший интерес представляет аномалия 8. С этой аномалией пространственно связана богатая россыпь алмазов р. Бол. Колчим с отсутствием рядом расположенных промежуточных коллекторов алмазов.

Прогнозные ресурсы алмазов территории листа О-40 категорий $P_3+P_2+P_1$ оценены в 74 млн. карат (2) (табл. 2).

Таким образом, официальный ресурсный потенциал алмазов Урала составляет порядка 89 млн. карат. Наиболее богатой в прогнозах на алмазы является территория листа О-40, но с меньшими фактическими содержаниями, размерами и массами алмазов, относительно территории листа Р-40. Кроме оцененных ресурсов Государственным балансом запасов (ГБЗ) по Уралу учитывается порядка 500 тыс. карат запасов алмазов не распределенного фонда.

Однако разработка алмазов Урала прекращена, а заинтересованных мелких и крупных инвесторов в изучение и разработки месторождений алмазов пока не предвидится. Таков итог изучения и разработки месторождений алмазов Урала.

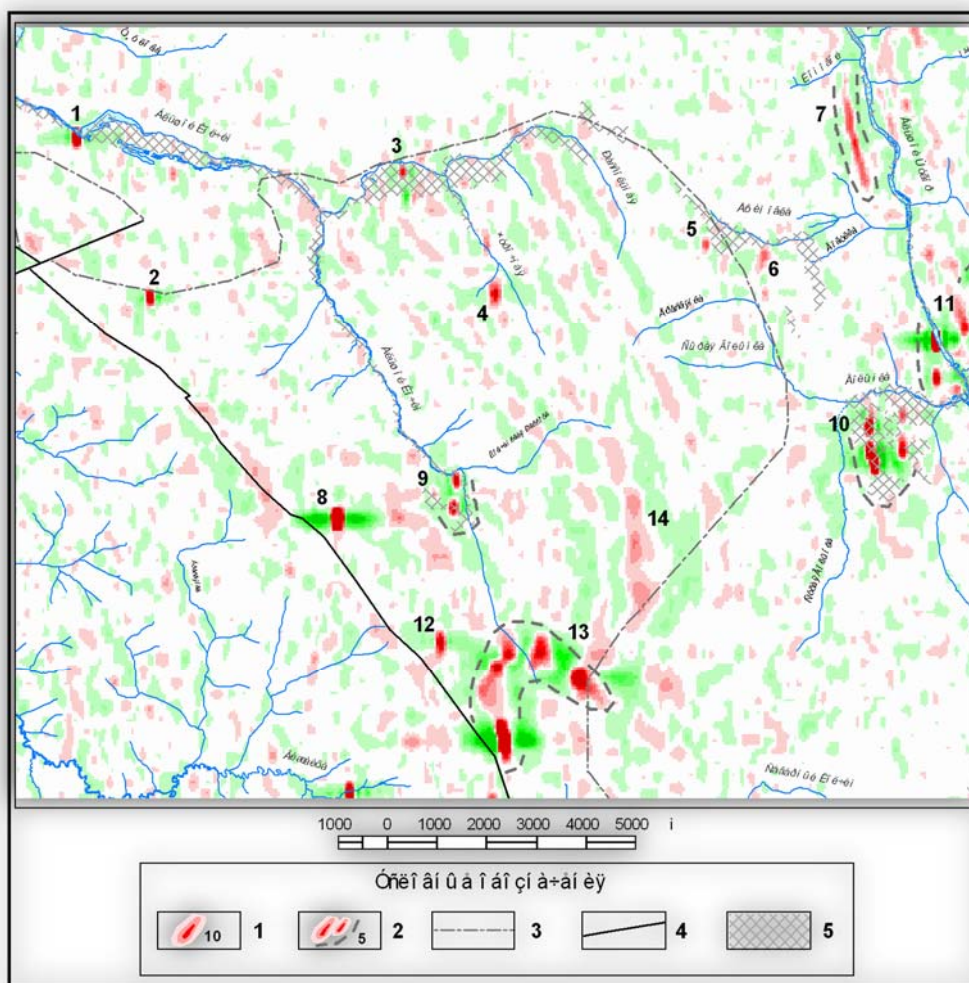


Рис. 5. Магнитные аномалии Вишерского алмазоносного района. Условные обозначения: 1 – магнитные аномалии и их номер, 2 – группа магнитных аномалий и их номер, 3 – поле развития пород докембрия, 4 – уральский надвиг, разделяющий Западно-Уральскую зону складчатости и Предуральский краевой прогиб, 5 – россыпи алмазов.

Таблица 2. Прогнозные ресурсы алмазов территории листа О-40 (2)

Минерагенический узел или район	Ресурсы алмазов проявлений, тыс. карат	
	коренных	россыпных
Косинский	не оценен	
Усольский	15000	1230
Мысовско-Шушпанский	15000	890
Чикманский	23300	2292
Верх-Яйвинский	4600	450
Пашийский	9900	230
Койвинско-Чусовской		1241
Итого	67800	6333
Итого коренных и россыпных алмазов		74133

С Государственными геологическими картами листов Р-40 и О-40 и объяснительными записками к ним можно ознакомиться на официальном сайте ВСЕГЕИ – <http://vsegei.ru/ru>

Библиографический список:

1. Водолазская В. П., Иванов В. Н., Петров Г. А., Зархидзе Д. В., Кириллин С. И., Кузенков Н. А., Курзанов И. Ю., Стороженко Е. В., Берлянд Н. Г., Жданов А. В., Мельгунов А. Н., Полянская Т. Л., Полякова И. Ф. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 (третье поколение). Серия Уральская. Лист Р-40 – Североуральск. Объяснительная записка. Набор карт и схем. СПб: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2007. 408 с.
2. Водолазская В. П., Тетерин И. П., Кириллов В. А., Лукьянова Л. И., Петров Г. А., Стефановский В. В., Морозов Г. Г., Жданов А. В., Жиганов А. В., Стряпунина Е. В., Еськин А. Г., Петрова Т. А., Вербицкий И. В., Вербицкая Н. В. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 (третье поколение). Серия Уральская. Лист О-40 – Североуральск. Объяснительная записка. Набор карта и схем. СПб. Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2015. 496 с.
3. Голубева И. И., Махлаев Л. В. Интрузивные пирокластиты Севера Урала. Сыктывкар, 1994. 98 с.
4. Джейкс А., Луис Дж., Смит К. Кимберлиты и лампроиты Западной Австралии: Пер. с англ. М.: Мир, 1989. 430 с.
5. Петрографический кодекс России. С.-Пб.: ВСЕГЕИ, 2009. 160 С.
6. Методические рекомендации по применению Классификации запасов и прогнозных ресурсов. Алмазы, М.:ГКЗ, 2007, 48 С.
7. Попов А. Г. Алмазоносность уральского типа и ее история // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении. Сборник научных статей. Пермь: Пермский ун-т, 2005. С.158-161.
8. Попов А. Г. Некоторые основные критерии аллювиальной алмазоносности Пермской области // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении. Сборник научных статей. Пермь: Пермский ун-т, 2003. С. 280–286.
9. Попов А. Г. Основные характеристики россыпей алмазов Пермской области // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении. Сборник научных статей. Пермь: Пермский ун-т, 2003. С. 286–290.
10. Попов А. Г. Источники алмазов месторождений Урала и его геодинамика // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 6; URL: www.science-education.ru/120-16197
11. Попов А. Г. Россыпи алмазов Урала // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 6; URL: www.science-education.ru/120-16553
12. Попов А. Г. Геодинамика и россыпи алмазов Урала //Материалы XV международного совещания по геологии россыпей и кор выветривания. Пермь: Пермский ун-т. – 2015. С.199–200.
13. Попов А.Г. Перспектива алмазоносности Урала // Материалы XV международного совещания по геологии россыпей и кор выветривания. Пермь: Пермский ун-т. – 2015. С. 200-201.
14. Попов А.Г. Глубинный геологический разрез и тектоника Северного Урала // Вестник Пермского университета. Геология. Пермь: Пермский ун-т. т. 16. №1, 2017. С. 26–34.

15. *Попов А. Г.* Алмазы окрестностей Помянного камня // Геология и полезные ископаемые Западного Урала. Пермь: Пермский ун-т. 2018. С. 87–90.
16. *Попов А. Г., Пактовский Ю. Г., Осовецкий Б. М.* Перспективы алмазоносности Пермского края // Эффективность геологоразведочных работ на алмазы: прогнозно-ресурсные, методические, инновационно-технологические пути ее решения. Материалы V Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, посвященной 50-летию Алмазной лаборатории ЦНИГРИ – НИГП АК «АЛРОСА» (ПАО). Мирный. 2018. С. 144–148.
17. *Попов А. Г.* Глубинный геологический разрез и тектоника Северного Урала // Вестник Пермского университета. Геология. Пермь: Пермский ун-т. т. 16. №1, 2017. С.26-34.
18. *Рыбальченко А. Я., Колбянин В. Я., Рыбальченко Т. М.* О новом типе магматизма как возможном источнике уральских алмазов // Моделирование геологических систем и процессов: Материалы региональной конференции. Пермь: Изд-во Пермского ун-та, 1996. С. 111–113.
19. *Рыбальченко А. Я., Колобянин В. Я., Лукьянова Л. И. и др.* О новом типе коренных источников алмазов на Урале // Доклады РАН, Рыбальченко Т. М. О специфическом характере алмазоносного вулканизма Полюдова Кряжа // Прогнозирование и поиски коренных алмазных месторождений: Материалы Международной научно-практической конференции. Симферополь. Судак, 1999. С. 163-165.
20. *Рыбальченко Т. М.* Петрографическая характеристика алмазоносных магматитов Полюдова Кряжа // Вестник Пермского ун-та. Геология, 1997. Вып. 4. С. 43-52.
21. *Уралалмаз – 50 лет.* Пермь: ИМА-прес, 1996. 10 с.
22. *Barnett, W.; et al.* "How Structure and Stress Influence Kimberlite Emplacement", in Pearson, D. Graham; et al., Proceedings of 10th International Kimberlite Conference, volume 2, Springer, 2013. p. 63
23. *Kjarsgaard, B. A.* Kimberlite Pipe Models: Significance for Exploration// Ore Deposits and Exploration Technology. pp. 668-677
24. *Mitchell, R. H.; Bergman, S. C.* (1991). Petrology of Lamproites. New York: Plenum Press. 1991. p. 325

И. Я. Илалтдинов, Г. Ю. Пономарева, И. В. Бадьянова

ПГНИУ, ilaltdinov@psu.ru,
galinaponomareva@yandex.ru, kataev7@psu.ru

О ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МИНЕРАЛОГИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ТЯЖЕЛОЙ ФРАКЦИИ ДЛЯ СТРАТИГРАФИЧЕСКОГО РАСЧЛЕНЕНИЯ ТЕРРИГЕННЫХ ТОЛЩ

Рассмотрена возможность применения минералогического анализа тяжелой фракции для расчленения терригенных толщ пермской системы. Установлена тенденция в увеличении минералов группы эпидота и сокращения черных рудных минералов в отложениях белебеевской свиты.

Ключевые слова: тяжелая фракция, терригенная толща

ABOUT THE POSSIBILITY OF THE APPLICATION OF HEAVY FRACTION MINERALOGY FOR STRATIGRAPHIC CORRELATION OF TERRIGENOUS THICKNESSES

Consideration of the possibility of using the mineralogical analysis of heavy fractions for calculating the territorial sequences of the Permian system. Established trends in the exploration of mineral groups and the reduction of ore mineral reserves in the deposition of the Belebевskaya suite.

Key words: heavy fraction, terrigenous stratum

Минералогический анализ тяжелой фракции используется при решении различных геологических задач: палеогеографические построения, расчленение и корреляция разрезов терригенных толщ, прогнозирование и поиски россыпей и др. (Осовецкий, 2004).

Терригенные отложения пермской системы широко развиты на территории России, в том числе Пермского края, и представлены алевролитами, песчаниками, конгломератами, характеризуются большой мощностью и ограниченной встречаемостью органических остатков, указывающих на их возраст. В связи с этим литологи уделяли особое внимание изучению их вещественного состава. Проведенные ранее исследования минерального состава тяжелой фракции терригенных пород пермского возраста на территории Пермского края и территориях географически близко расположенных к нему, Татарстан, Башкортостан, Удмуртия, Кировская область свидетельствуют о преобладании в терригенных породах уфимского яруса нижней перми рудных минералов, в меньшем количестве минералов группы эпидота и устойчивых. Содержание последних заметно увеличивается с удалением от Урала, а минералов группы эпидота на юге Прикамья снижается от 25,2 до 1,8 %. Терригенные отложения казанского яруса средней перми характеризуются сложным распределением минералов тяжелой фракции. Отмечается, что в плане наблюдаются закономерные изменения минерального состава, аналогичные таковым в уфимских отложениях. Для белебеевской свиты, изученной в восточных районах Татарстана по разным профилям, установлено, что в северной части преобладают черные рудные минералы и минералы группы эпидота, а в южной – черные рудные, хлоритоид и др. (Осовецкий, 2004). Принципиальное различие наблюдается в содержании минералов группы эпидота, роль которых возрастает в более молодых отложениях.

С целью оценки возможности применения минералогического анализа тяжелой фракции для стратиграфического расчленения немых терригенных толщ пермского возраста на территории Пермского края были отобраны восемь точечных литологических проб из песчаников и конгломератов, предположительно шешминской и белебеевской свит пермской системы, согласно геологиче-

ской карте ВСЕГЕИ, 2010 г. Исходная масса литологической навески варьировала от 150 до 223 г.

Методика обработки проб состояла в предварительной дезинтеграции песчаников и конгломератов, отмучивании глинистой фракции и выделении в бромформе из алевроито-песчаной фракции тяжелой фракции. Тяжелая фракция была рассеяна на классы с выделением фракции 0,25–0,1 мм для последующего минералогического анализа. Выход тяжелой фракции составил от 0,14 до 0,86 %, что в целом характерно для терригенных отложений пермского возраста.

Минералогический анализ тяжелой фракции показал, что проба из песчаников шешминской свиты, отобранная в карьере д. Косотуриха, характеризуется высоким содержанием черных рудных минералов более 60 % (хромшпинелид, магнетит, ильменит) и пониженным содержанием минералов группы эпидота – 23,2 %. Устойчивых минералов (ставролит, циркон, шпинель), как отмечалось ранее, действительно оказалось мало, десятые доли процента. В пробах из песчаников и конгломератов белебеевской свиты в обнажении на р. Кама вблизи г. Оханска и из карьера «Ольховка» в 30 км юго-западнее г. Перми отмечается широкий разброс в содержании минералов группы эпидота (14,5–53,7 %), практически в два раза ниже содержание черных рудных минералов, в том числе хромшпинелида на уровне первых процентов, повышенное содержание гематита (до 42,9 %) и гидроксидов железа (до 55,7 %) в отдельных пробах (табл. 1).

Разрез «Ключики» на геологической карте относится к шешминской свите уфимского яруса, но при этом резко отличается от минерального состава тяжелой фракции песчаников шешминской свиты д. Косотуриха высоким содержанием эпидота в песчаниках до 87,7 % и низким содержанием черных рудных минералов до 8,5 %.

Т.В. Харитонов (2008) при анализе минерального состава тяжелой фракции шешминской и соликамской свит нижней перми для установления характерной для свит минеральной ассоциации предлагает отбрасывать аутигенные минералы и минералы магнитной фракции. В результате шешминская свита на территории Верхнекамского месторождения характеризуется эпидот-пироксеновой ассоциацией (Харитонов, 2008).

Тяжелая фракция терригенных пород включает аутигенные и аллотигенные компоненты. В минералогическом анализе тяжелой фракции существуют методики, когда содержание минералов показывается отдельно для аллотигенной и аутигенной части тяжелой фракции терригенных пород. Если использовать при анализе минерального состава тяжелой фракции пород шешминской и белебеевской свит подобный подход, то для ряда проб соотношение между аллотигенными минералами становится принципиально иным, в силу доминирования в ряде проб аутигенных минералов (гематит, гидроксиды железа) (табл. 2).

Таблица 1. Минеральный состав тяжелой фракции (класс 0,25-0,1 мм) терригенных пермских пород, %

Минерал	Номер пробы							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Группа эпидота	23,2	53,7	19,3	14,5	17,8	87,7	71,9	23,9
Хромшпинелид	43,1	2,1	3,6	-	2,1	3,5	1,8	9,0
Магнетит	15,4	24,3	30,5	2,6	33,2	5,0	3,6	14,4
Гематит	13,8	8,2	42,9	14,9	41,7	2,3	7,2	4,5
Ильменит	2,2	2,3	-	-	-	-	-	1,0
Хлорит	0,9	-	-	-	-	-	0,7	0,5
Ставролит	0,4	0,2	-	0,4	-	-	-	-
Циркон	0,2	1,1	-	1,3	1,9	0,3	0,7	1,0
Шпинель	0,2	-	-	-	-	-	-	-
Пироксен	0,2	-	-	-	-	-	-	-
Хлоритоид	0,2	-	-	-	-	-	-	-
Гранат	-	0,2	0,4	0,9	-	-	0,4	-
Турмалин	-	0,2	-	-	-	-	-	-
Гидроксиды железа	-	0,7	2,9	55,7	2,9	1,2	12,2	45,8
Лейкоксен	-	0,2	-	2,2	0,1	-	1,4	-
Рутил	-	0,4	-	-	0,1	-	-	-
Обломки пород	-	6,3	-	-	-	-	-	-
Гидрослюда	-	0,2	0,4	-	-	-	-	-
Металл. стружка	-	-	-	7,5	-	-	-	-

Примечание: 1 – песчаник из карьера д. Косотуриха; 2,3 – конгломерат и песчаник из обнажения на р. Кама г. Оханск; 4,5 – конгломерат и песчаник из карьера «Ольховка»; 6, 7 – песчаник, 8 – конгломерат из разреза «Ключики» с. Куеда

Анализ аллотигенной части тяжелой фракции свидетельствует о незначительном росте содержания и сохранении прежнего соотношения всех минералов в пробе из песчаника шешминской свиты. В пробах 3, 4, 5 из белебеевской свиты увеличилось содержание эпидота в два и более раз, но при этом в два раза возросло и содержание магнетита до 60 %. Содержание хромшпинелида осталось на низком уровне. Таким образом, можно отметить более высокое содержание эпидота, низкую концентрацию хромшпинелидов в отложениях белебеевской свиты, по сравнению с шешминской свитой.

Минеральный состав аллотигенной части тяжелой фракции песчаников из разреза «Ключики» существенно не изменился. Доминирование эпидота стало подавляющим – 90 %, а содержание черных рудных минералов уменьшилось. В пробе из конгломератов разреза «Ключики» доля эпидота возросла более чем в два раза, при росте суммарного содержания черных рудных минералов.

Близость состава аллотигенных минералов тяжелой фракции песчаников и конгломератов разреза «Ключики» к составу аллотигенных минералов тяжелой фракции отложений белебеевской свиты позволяет высказать предположение о казанском возрасте песчаников разреза «Ключики». Это подкреплено ис-

следованием комплекса остатков позвоночных в данном разрезе, указывающих на казанский возраст (Наугольных, 2009).

Таблица 2. Минеральный состав аллотигенной части тяжелой фракции (класс 0,25-0,1 мм) терригенных пермских пород, %

Минерал	Номер пробы							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Группа эпидота	27,0	59,0	35,6	49,3	32,2	91,0	89,6	48,0
Хромшпинелид	50,0	2,4	6,7	-	3,8	3,6	2,2	18,0
Магнетит	17,9	26,7	56,3	9,0	60,0	5,1	4,4	29,0
Ильменит	2,6	2,6	-	-	-	-	-	2,0
Хлорит	1,0		-	-	-	-	0,9	1,0
Ставролит	0,5	0,2	-	1,5	-	-	-	-
Циркон	0,25	1,2	-	4,4	3,4	0,3	0,7	2,0
Шпинель	0,25		-	-	-	-	-	-
Пироксен	0,25		-	-	-	-	-	-
Хлоритоид	0,25		-	-	-	-	-	-
Гранат	-	0,2	0,7	3,0	-	-	0,4	-
Турмалин	-	0,2	-	-	-	-	-	-
Лейкоксен	-	0,2	-	7,5	0,3	-	1,8	-
Рутил	-	0,4	-	-	0,3	-	-	-
Обломки пород	-	6,9	-	-	-	-	-	-
Гидрослюда	-	-	0,7	-	-	-	-	-
Металл. стружка	-	-	-	25,3	-	-	-	-

Примечание: 1 – песчаник из карьера д. Косотуриха; 2,3 – конгломерат и песчаник из обнажения на р. Кама г. Оханск; 4,5 – конгломерат и песчаник из карьера «Ольховка»; 6, 7 – песчаник, 8 – конгломерат из разреза «Ключики» с. Куеда

Ограниченное количество изученных проб не позволяет сделать однозначный вывод о существовании «минералогического рубежа» на границе уфимского и казанского веков пермского периода. Наблюдается тенденция в увеличении содержания минералов группы эпидота и сокращении содержания черных рудных минералов, особенно хромшпинелида на уровне первых процентов, в более молодых отложениях. Установленную тенденцию можно использовать для расчленения «немых» толщ в совокупности с другими признаками: минеральным составом обломков, петрографическим описанием пород в шлифах (Харитонов, 2008).

Библиографический список:

1. Наугольных С. В. Разрез Ключики // Геологические памятники Пермского края: Энциклопедия. Пермь, Горный институт УрО РАН. 2009. С. 188–192
2. Осовецкий Б. М. Минералогия мезокайнозоя Прикамья. Избранные труды. Пермь: Изд-во ПГУ, ПСИ, ПССГК, 2004. 292 с.
3. Харитонов Т. В. Разделение полимиктовых песчаников на примере шешминских и соликамских // Проблемы минералогии и петрографии и металлогении. Научные чтения памяти П.Н. Чирвинского: сб. науч. ст. Пермь, Перм. ун-т. 2008. С. 101–106

ПЕТРОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЛИНЁВСКОГО КОМПЛЕКСА ГРАНИТ-ПОРФИРОВ

В статье представлен микроэлементный состав Линёвского комплекса гранит-порфиров. Участок исследования расположен в Горнозаводском районе Пермского края (Средний Урал). Объектом исследования являются породы Каменногорского антиклинория, представленные верхнерифейским комплексом отложений Усьвинско-Синегорской подзоны.

Ключевые слова: петрохимическая характеристика, гранит-порфировая группа, вулканогенно-осадочные породы, Горнозаводский район

A. U. Puzik
Perm State University, Alex.Puzik@mail.ru

PETROCHEMICAL CHARACTERISTICS OF THE LINEVSKIY COMPLEX OF GRANITE-PORPHYRY

The microelement composition of Linevskoy granite-porphyry group of dykes are represented. Dykes are located in the Gornozavodsky district of the Perm region (Middle Ural) and opened by wells. Dykes are located the volcano-sedimentary rocks of the fedotovskaya suite of the Upper Riphean.

Key words: petrochemical characteristics, granite-porphyry group, volcano-sedimentary rocks, Gornozavodsky district

Дайки Линёвского гранит-порфирового комплекса располагаются в пределах Каменногорского антиклинория, являющегося составной частью структуры II-го порядка: Кваркушско-Каменногорского мегантиклинория байкалид (PR-Є), относящегося, в свою очередь, к Центрально-Уральскому поднятию (ЦУП). Административно исследуемые гранит-порфиры расположены в Горнозаводском районе Пермского края. Породы Каменногорского антиклинория представлены верхнерифейским комплексом отложений Усьвинско-Синегорской подзоны Западно-Уральской структурно-фациальной зоны, относящихся к кедровской и басегской сериям. К Линевскому гранит-порфировому комплексу относят гранитоиды (гранит-порфиры, плагиогранит-порфиры и гранодиориты) интрузирующие габброиды Журавликовского массива на р. Серебряная. Ранее Б.К. Ушковым в 1981 и 1987 гг. гранитоиды описывались как кварцевые сиенит-порфиры. При проведении ГДП-200 Г.А. Петров в 1999 году переопределил кварцевые сиенит-порфиры в гранит-порфиры, плагиогранит-порфиры и гранодиориты. Дайки гранит-порфиров установлены на левобережье р. Койва, северо-западнее г. Ближняя Кырма и представлены серией мало-мощных (30–100 м) линейных тел северо-восточного простирания. По данным бурения – это крутопадающие на юго-запад тела протяженностью до 4,5 км.

Макроскопически *гранит-порфиры* – рассланцованные, серые и светло-зеленовато-серые породы, на выветрелых поверхностях – тонко-линзовидно-полосчатые, белые, с салатными слюдистыми агрегатами на плоскостях сланцеватости.

В шлифах, описанных Б.К. Ушковым в 1981 году, порода характеризуется порфировой микро- мелкозернистой лепидогранобластовой структурой. Порфировые вкрапленники представлены калиевым полевым шпатом (пертит) или шахматным альбитом и кварцем. Количество их колеблется от 5 % до 20 %, при преобладании полевого шпата (5 %). Основная масса представлена микро-мелкозернистым агрегатом полевых шпатов (62–83 %), кварца (17–25 %) и серицита (мусковита) (7 %), встречается биотит. Акцессорные минералы представлены цирконом, ксенотимом, монацитом, ортитом, апатитом, рутилом, лейкоксенном. Почти повсеместно присутствуют псевдоморфозы лимонита по пириту, реже свежий пирит. Полевой шпат во вкрапленниках представлен ортоклаз-микропертитом призматической и таблитчатой формы (0,4–2 мм). Порфировые вкрапленники кварца (0,3–1 мм) чаще имеют округлую форму, реже – кристаллы с оплавленными овальными очертаниями. Окварцевание происходило в несколько этапов: более раннее окварцевание наблюдается в виде мелких (0,05–0,1 мм), часто выклинивающихся прерывистых беспорядочно секущих породу прожилков и мелких линзовидных образований, представленных агрегатным кварцем. Вторая генерация – более крупные прожилки (до 5 мм), с которой связаны альбитизация и карбонатизация. Окварцеванию подвергались как вкрапленники, так и основная масса породы, частичная перекристаллизация которой не позволяет разделить новообразования и первично-магматический кварц. Примерное содержание вторичного кварца в целом по породе составляет 10–17 %. Все вмещающие дайки породы сильно изменены, вблизи контактов наблюдается сильное окварцевание, карбонатизация, хлоритизация.

Микроэлементный состав гранит-порфиров Линёвского комплекса, определялся с помощью метода масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-МС, BRUKER AURURA M90), в лаборатории Сектора наноминералогии ПГНИУ. Полученные результаты были нанесены на диаграмму Джона Пирса (1984), диаграмму генетической типизации гранитов (Чайковский, 1995) и на диаграмму фаций метаморфизма (Смыслов, 1968). На диаграмме, гранит-порфиры попали в поле внутриплитных образований, что говорит об их формировании в условиях рифтогенной континентальной обстановки (рис.1.).

На диаграмме генетической типизации гранитоидов, исследуемые гранит-порфиры попали в поле субщелочных (щелочных), коровых образований (рис. 2). Это может говорить о формировании очагов субщелочной гранитоидной магмы в коровом пространстве.

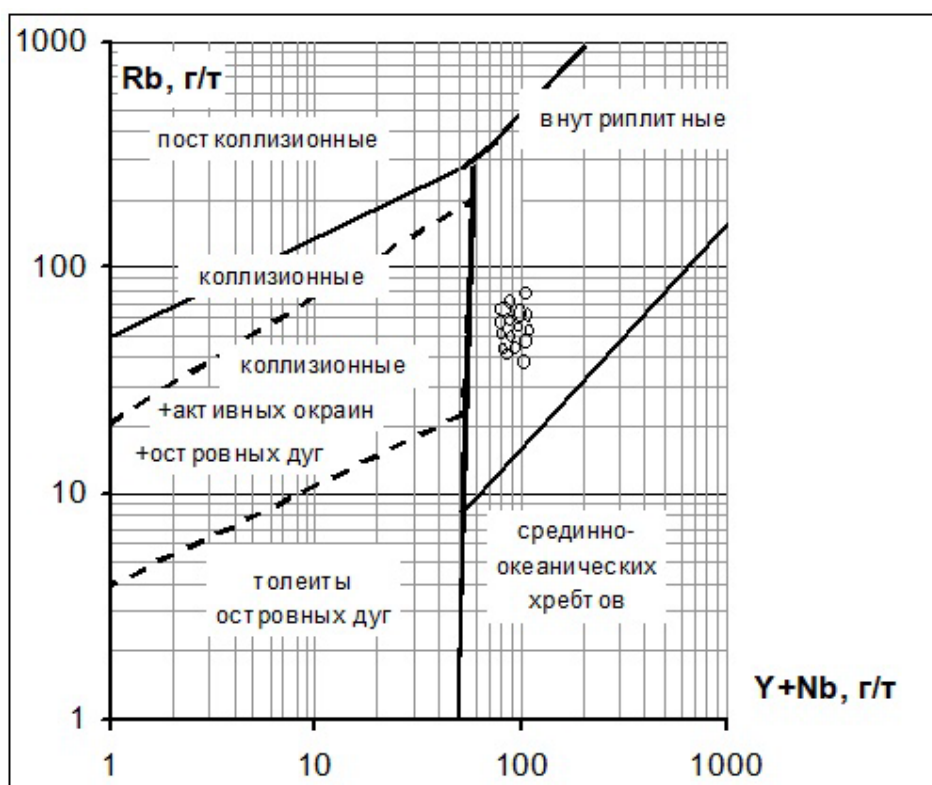


Рис. 1. Положение гранитоидов Линёвского комплекса на диаграмме Дж. Пирса и др.(1984) с добавлениями В. М. Даценко (1998).

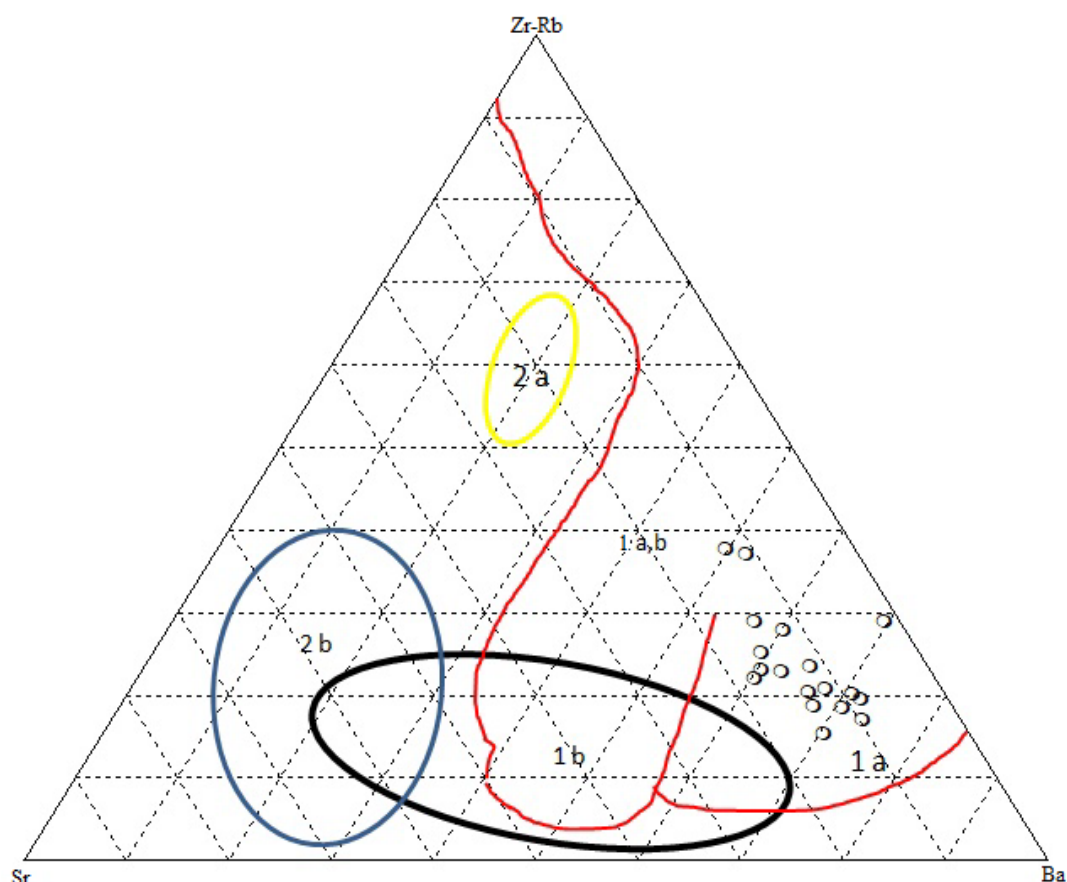


Рис. 2. Положение гранитоидов на диаграмме Sr–Ba–(Zr–Rb): Цифрами обозначены поля гранитоидов: 1 – субщелочного и щелочного ряда (а-коровые, b-мантийные (А-граниты)); 2a,b – толеитового ряда (О граниты срединно-океанических хребтов (а) и преддуговых бассейнов (b)); 3 – андезитового ряда (М-граниты).

На диаграмме соотношения урана и тория показаны поля фаций метаморфизма (рис. 3). Фигуративные точки на диаграмме попали в поле гранулитовой фации. Таким образом, можно сказать, что гранит-порфиры Линёвского комплекса образовались за счет плавления высокометаморфизованного субстрата.

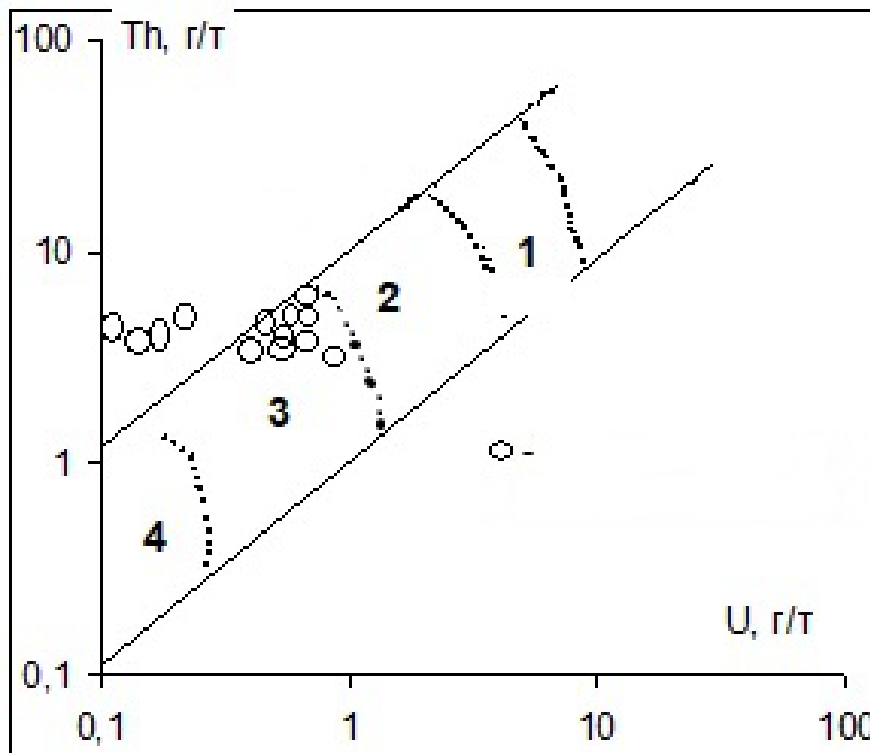


Рис. 3. Соотношение урана и тория в гранитоидах. Поля фаций метаморфизма по А. А. Смыслову: 1 – зеленосланцевая эпидот-амфиболитовая; 2 – амфиболитовая; 3 – гранулитовая; 4 – эклогитов.

По приведенным диаграммам можно сделать следующий вывод: гранитоиды Линёвского гранит-порфирового комплекса связаны с континентальным рифто-генезом и фомированием очагов субщелочной гранитоидной магмы в коре, на глубинах, отвечающих гранулитовой фации метаморфизма.

Библиографический список:

1. Аблизин Б. Д., Ключина М. Л.; Курбацкая Ф. А. и др. Верхний рифей и венд западного склона Среднего Урала // М.: Наука, 1982, с.140.
2. Смыслов А. А. Закономерность распределения и миграция урана и тория в горных породах земной коры // Труды ВСЕГЕИ, 1968, с. 164.
3. Сулов С.Б. Журавликский пироксенит-сиенит-габбровый массив // Магматизм и геодинамика. Материалы 1-го Всероссийского петрографического совещания. Кн.2. Формации и серии магматических и метаморфических пород. Уфа, ин-т геологии УНЦ РАН, 1995, с. 139–140.
4. Сулов С. Б. Вулканыты федотовской свиты в разрезах р. Койва // Проблеммы минералогии, петрографии и металлогении. Научные чтения памяти П. Н. Чирвинского, ПГНИУ, 2015, с. 131–144.
5. Чайковский И. И. Поведение циркония, стронция, бария и рубидия в магматических сериях и генетическая типизация гранитоидов // Магматизм и геодинамика. Материалы 1 Всероссийского петрографического совещания, кн. 3. Уфа, 1995, с.137-139.
6. Pearce J. A., Harris N. B. W., Tindle A. G. 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *Journal of petrology*, v.25, pp.956-983.

УГЛЕРОДИСТОЕ ВЕЩЕСТВО КАК ГЕОХИМИЧЕСКИЙ БАРЬЕР ДЛЯ ЗОЛОТА ЧЕРНОСЛАНЦЕВЫХ ПОРОД

В корях выветривания по верхнерифейским черным сланцам, распространенным на территории Горнозаводского района Пермского края, встречено агрегатное золото глобулярного строения. Морфологические особенности этого золота обусловлены ролью углеродистого вещества черных сланцев, которое является сорбентом благородного металла, освободившегося из сульфидов. Экспериментально доказано, что на углеродистое вещество верхнерифейских черных сланцев золото из ионного состояния оседает в виде глобулей.

Ключевые слова: глобулярное золото, черные сланцы, углеродистое вещество, сорбция

I. V. Badianova¹, M. A. Volkova²
Perm State University, ¹kataev7@psu.ru, ²margo@psu.ru

CARBONACEOUS SUBSTANCE, AS A GEOCHEMICAL BARRIER FOR GOLD OF BLACK SHALES ROCKS

In the weathered rocks of Upper Riphean black shales, common in the Gornozavodsky district of the Perm Territory, aggregate gold of globular structure was found. The morphological features of this gold are due to the role of the carbonaceous matter of the black shales, which is the sorbent of the noble metal liberated from sulfides. It has been experimentally proven that gold from the ionic state is deposited in the form of globules on the carbonaceous matter of Upper Riphean black shales.

Key words: globular gold, black shales, carbonaceous matter, sorption

Одним из характерных типов углеродистых пород являются черносланцевые толщи, которые представляют интерес как источник золоторудной минерализации. ОАО «Пермгеолнеруд» проводили поисковые работы в 2012–2014 г. по выявлению новых месторождений золота в верхнерифейских черносланцевых толщах, распространенных в Горнозаводском районе Пермского края. В рамках поисковых работ проводились лабораторные исследования частиц золота, извлеченных из коренных пород и развитых по ним кор выветривания.

Морфологические типы золота черных сланцев федотовской свиты верхнего рифея представлены вторичными кристаллами, сростками и осколками кристаллов, угловатыми неправильной формы, таблитчатыми, пластинчатыми и чешуйчатыми, шарообразными, комковатыми и удлиненно-дощатыми частицами золотисто-желтого цвета, размером в основном менее 0,05 мм, реже встречались частицы размером 0,05-0,1 и 0,1-0,25 мм.

В корях выветривания по черным сланцам были обнаружены частицы золота агрегатного строения золотисто-желтого и темно-золотисто-желтого цвета, с преобладающим размером 0,05-0,1 мм (рис. 1). Химический состав золота кор

выветривания отличается от такового золота не измененных выветриванием черных сланцев присутствием большего количества ртути в глобулах агрегатных частиц (Бадьянова, 2015). Особенности морфологии этих частиц золота позволяют рассматривать их как результат процессов сорбции металла органическим веществом (Волкова, 2016).

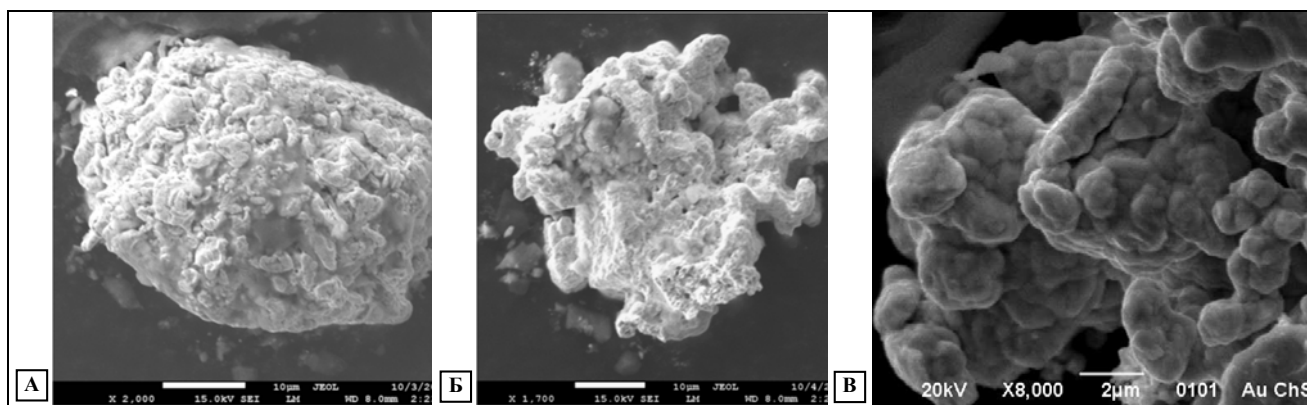


Рис. 1 Агрегатное золото из кор выветривания черносланцевых толщ (фото Осовецкого Б.М.): А, Б – золото округлой и неправильной формы агрегатного строения, В – фрагмент золота агрегатного строения

Верхнерифейские углеродистые сланцы федотовской свиты содержат сульфидную минерализацию около 70 % тяжелой фракции, что составляет по данным дифрактометрического анализа в среднем 2 % от всей породы (Бадьянова, 2018). В зоне окисления кор выветривания присутствует агрессивная водная среда, растворяющая сульфиды и обуславливающая высвобождение золота из них в разной форме (Осовецкий, 2013). Для подтверждения способности черных сланцев федотовской свиты выполнять функцию геохимического барьера по сорбции золота в лабораторных условиях нами был проведен эксперимент.

Для проведения эксперимента был приготовлен 1 % раствор, содержащий ионы золота. Для этого навеску металлического золота поместили в стакан, залили смесью кислот $\text{HCl} - \text{HNO}_3$ в соотношении 3:1. Раствор нагрели на электрической плитке до полного растворения золота, затем упарили до влажных солей. Полученную субстанцию перепарили трижды с концентрированной хлороводородной кислотой. Сухой остаток растворили в 2М HCl , получили раствор ионов $\text{Au}(\text{III})$ (Карякин, 1974). Далее нами были отобраны фрагменты черного сланца с различной поверхностью и содержанием углеродистого вещества. В бюкс объемом 100 мл налили 1 % раствор ионов золота (III), разбавили дистиллированной водой до концентрации 0,5 % и $\text{pH}=1$ и погрузили в него образцы черного сланца. Закрыли бюкс и выдерживали образцы в растворе 24 часа. Затем раствор слили, образцы промыли, выложили на фильтровальную бу

магу, высушили и просмотрели под бинокулярным микроскопом. На образцах отмечено присутствие золота в определенных участках, где присутствует углеродистое вещество (рис. 2).

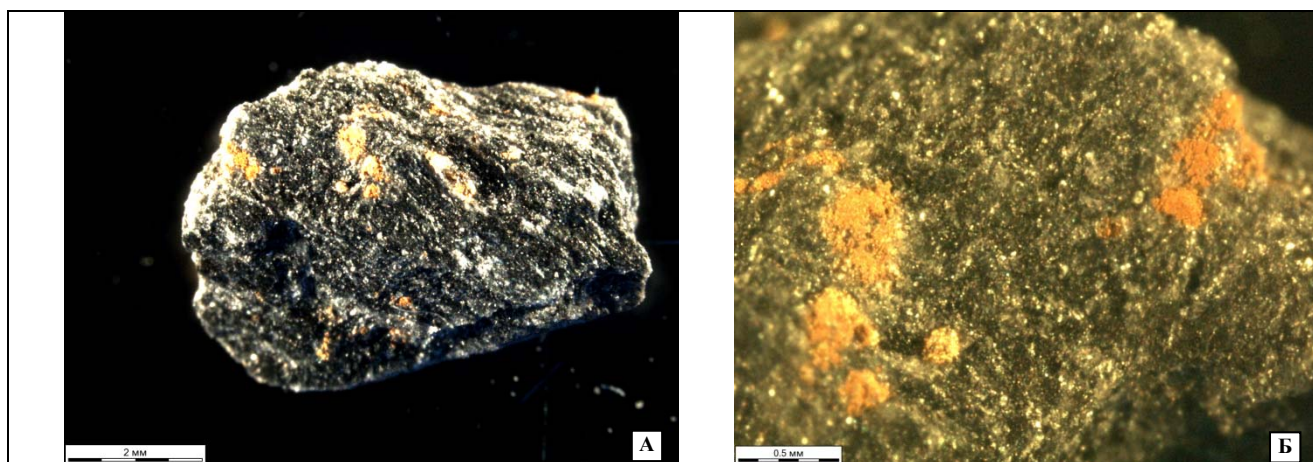


Рис. 2 Общий вид черного сланца выдержанного в 0,5 % растворе, рН 1 (по HCl), в течение 24 часов (фото Бадьяновой И. В., Осовецкого Б. М.): А – общий вид образца черного сланца, Б – фрагмент образца черного сланца

Затем фрагменты черных сланцев с золотом помещались под электронный микроскоп и исследовались формы проявления осевшего золота (рис. 3). На фотографиях видно, что золото оседало последовательно вдоль слоистости породы, в местах прослоев углеродистого вещества. Скопления золота сформировались в виде округлых глобул и пленок. Глобулы имеют размер около 100 мкм, которые в свою очередь состоят из еще более мелких глобул (в среднем около 20 мкм). При большем увеличении видно, что микроразмерные глобулы состоят из наноразмерных. Соединенные друг с другом микроразмерные глобулы образуют пленки на поверхности породы. Химический состав агрегатов глобулярного золота представлен на 98 % золотом.

Ранее учеными института геохимии им. А. П. Виноградова СО РАН проводились экспериментальные работы по определению сорбционной активности нерастворимого углеродистого вещества верхнепротерозойских черносланцевых образований (Развозжаева, 2013). Полученные нами данные также подтверждают сорбционную активность углеродистого вещества на примере верхнерифейских черных сланцев федотовской свиты. Агрегатные образования золота на углеродистом веществе образцов черных сланцев схожи по морфологическим особенностям с частицами золота агрегатного строения, образующихся в корах выветривания черных сланцев. Это подтверждает природу происхождения агрегатного золота в корах выветривания черносланцевых образований федотовской свиты верхнего рифея, геохимическим барьером для осаждения которого служит углеродистое вещество.

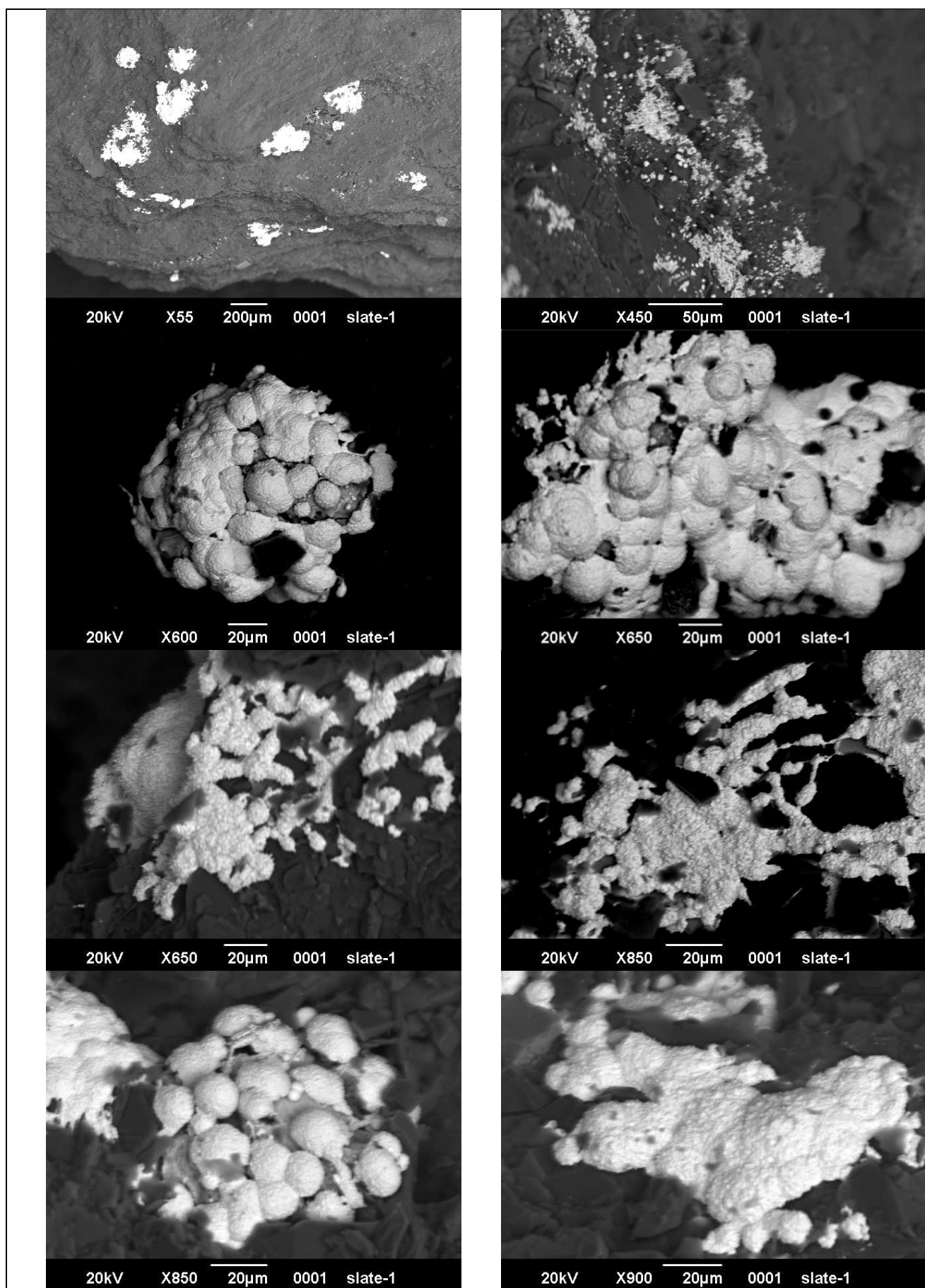


Рис. 3 Фотографии золота на углеродистом веществе черного сланца (фото Осовецкого Б. М.)

Библиографический список:

1. Бадьянова И. В. Глобулярное золото черносланцевых толщ // Геология и полезные ископаемые Западного Урала. Пермь, Перм. ун-т, 2015. № 15. С. 3–5.
2. Бадьянова И. В. Коры выветривания верхнерифейских черносланцевых отложений Среднего Урала // Геология и полезные ископаемые Западного Урала. Пермь, Перм. ун-т, 2018. № 1(38). С. 24–31.
3. Волкова М. А., Осовецкий Б. М. Экспериментальное моделирование процессов образования «Нового» нанозолота // Геология и полезные ископаемые Западного Урала. Пермь, Перм. ун-т, 2016. С. 50–54.
4. Карякин Ю. В., Ангелов И. И. Чистые химические вещества. М.: Химия, 1974. 169 с.
5. Осовецкий Б. М. Природное нанозолото. Пермь, Перм. ун-т, 2013. 176 с.
6. Развозжаева Э. А., Будяк А. Е., Прокопчук С. И. Сорбционная активность нерастворимого углеродистого вещества черносланцевых образований в процессе регионального метаморфизма (Байкало-Патомское нагорье) // Геохимия. Иркутск, 2013. № 1. С. 92–96.

А. В. Гилёва

ПГНИУ, gileva_2012@mail.ru

КОНТРОЛИРУЕМОЕ ИСТИРАНИЕ КАК ВАЖНЫЙ ЭТАП ПРОБОПОДГОТОВКИ ДЛЯ ГИДРОСЕПАРАЦИИ НА ПРИМЕРЕ ГОРИЗОНТА MG-2 КОМПЛЕКСА БУШВЕЛЬД (ЮАР)

В работе описывается проведение первого этапа пробоподготовки (контролируемого истирания) для гидросепарации, а также проверка его качества при помощи лазерно-дифракционного анализа.

Ключевые слова: контролируемое истирание, пробоподготовка, гидросепарация, бушвельдский комплекс

A. V. Gileva

Perm State University, gileva_2012@mail.ru

CONTROLLED DESTRUCTION AS AN IMPORTANT STAGE OF SAMPLE PREPARATION FOR HYDROSEPARATION ON THE EXAMPLE OF THE MG-2 HORIZON OF BUSHVELD COMPLEX (SOUTH AFRICA)

Here we present results of controlled destruction. It is the first stage of sample preparation for hydroseparation.

Key words: controlled destruction, sample preparation, hydroseparation, bushveld complex

Целью работы являлось проведение качественного контролируемого истирания для обогащения материала на гидросепараторе.

Объектом исследования послужил образец, отобранный штучным способом из слоя MG-2 Средней группы Критической зоны на территории хромитового рудника Таба в северо-западной части Комплекса Бушвельд.

Комплекс Бушвельд – крупнейший расслоенный интрузив, месторождение платины и хромита, расположенный в бывшей провинции Трансвааль (ЮАР). Его возраст оценивается в 2,06 млрд. лет (Scoates, 2015), а площадь массива составляет 66000 км² (Уэйджер, 1969).

Гидросепарация – относительно новый метод получения тяжелой фракции (Рудашевский и др., 2002), основанный на разделении материала по гидравлической крупности в восходящем водном потоке в стеклянной разделительной трубке за счет воздействия центробежной силы и турбулентности (Аликин и др., 2017) (рис. 1).

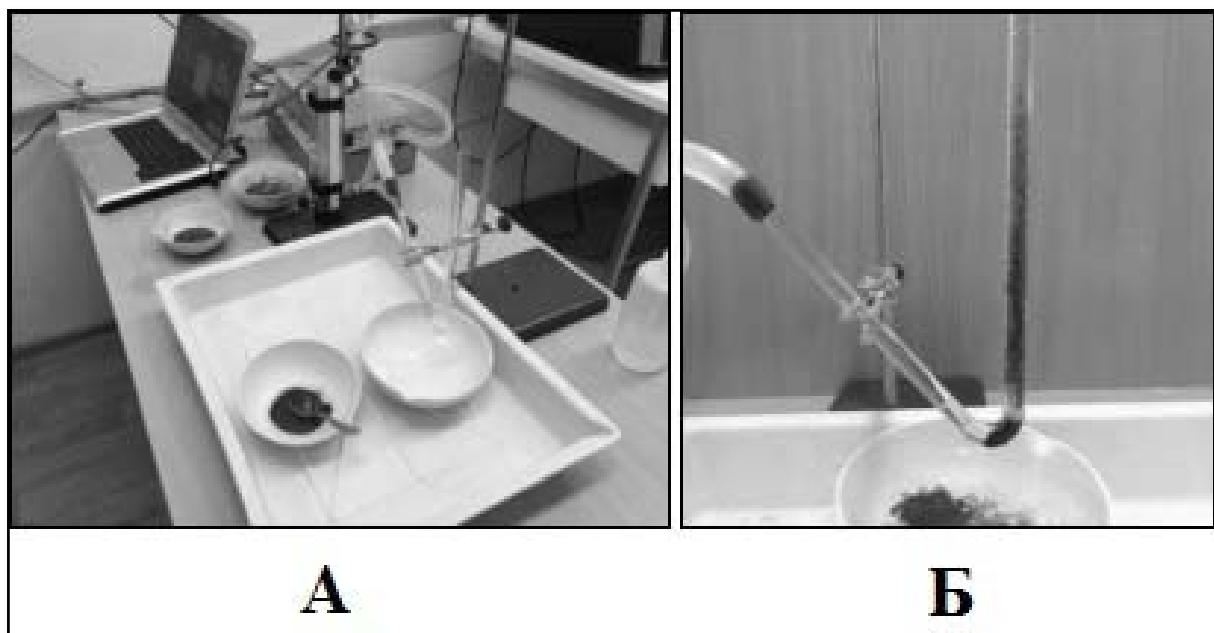


Рис. 1. Фото процесса гидросепарации. Общий вид установки (А) и процесс разделения (Б)

Проведение качественной пробоподготовки необходимо, т.к. результаты гидросепарации (ультраконцентраты) – это высококонцентрированный препарат для изучения под электронным микроскопом. Из пробы весом 1 кг получается всего лишь 5-6 репрезентативных ультраконцентратов (может быть больше или меньше, в зависимости от количества фракций и выхода акцессорных и других изучаемых зерен минералов) массой по 10-30 мг (зависит от минеральных видов). Таким образом, гидросепарация – очень требовательный к этапам пробоподготовки метод.

Первым этапом пробоподготовки является контролируемое истирание. Если его произвести некачественно – можно все превратить в пыль, либо недовскрыть необходимые акцессорные минералы.

Вторым этапом пробоподготовки для гидросепарации является мокрый рассев. Если его неправильно или некачественно произвести – можно засорить одним крупным зерном всю более тонкую фракцию, из-за чего процесс гидросепарации пойдет неправильно, т.к. крупное зерно обладает другой гидравлической крупностью и будет стопорить другие, более мелкие зерна. В итоге получится непредставительный ультраконцентрат, содержащий ненужную легкую фракцию и будут значительные потери полезных тяжелых минералов.

Таким образом, истирание и мокрый рассев – два важнейших этапа пробоподготовки для гидросепарации. Они занимают очень много времени, но чем качественнее будет проведена пробоподготовка, тем меньше трудностей возникнет при изучении пробы и тем репрезентативнее будут результаты исследования.



Рис. 2. Истиратель вибрационный ИВ-1

Проба представляла собой штучной образец, поэтому нуждалась в предварительном дроблении и последующем контролируемом истирании.

Первичное дробление до 3 мм производилось с помощью щековой лабораторной дробилки ЩД-10 (производитель – Вибротехник, Россия).

Истирание производилось на вибрационном истирателе ИВ-1 (рис.2) (производитель – Вибротехник, Россия). Он предназначен для измельчения проб материала до тонкодисперсного состояния в периодическом режиме. Здесь измельчение происходит за счет одновременной деформации сжатия и сдвига, т.е. истирания. Альтернативой является дробление, но при этом происходит раскалывание частиц, что недопустимо в целях работы – максимальном приближении к истинному облику зерен в процессе вскрытия зерен. Гораздо эффективнее при решении этой задачи служит деформация сдвига и сжатия, которая позволяет минимизировать раскалывание частиц, когда дробление, наоборот – увеличивает долю их раскалывания. Крупность измельченного материала зависит от времени работы истирателя и физических свойств материала.

Главная цель данной работы - правильно вскрыть частицы сульфидов и платины. Максимальный размер платиноидов – 15 мкм (Томилина и др., 2016), однако в данной работе рассматривается их взаимоотношение с сульфидами. К тому же наименьший размер зерен хромита – 50 мкм (Kinnaird, 2010), следовательно, чтобы максимально вскрыть сульфиды и платиноиды необходимо истирать до крупности 45–50 мкм.

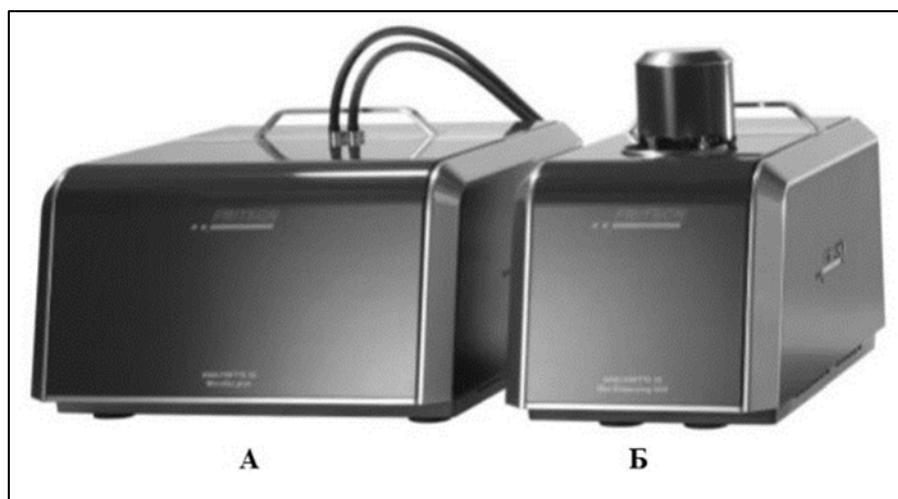


Рис. 3. Лазерный дифракционный анализатор гранулометрического состава Analysette 22 MicroTec plus. Измерительный блок (А), блок диспергирования в жидкой среде (Б).

Работа была начата со стадии рассева, чтобы отделить наиболее мелкие частицы, не нуждающиеся в истирании, от крупных. При этом использовался логарифмический набор сит (сетка металлическая проволочная с квадратной ячейкой по ГОСТ 6613-86, «РосПрибор», 2014).

Для проверки качества истирания было решено провести лазерно-дифракционный анализ на лазерном дифракционном анализаторе гранулометрического состава Analysette 22 MicroTec plus с блоком диспергирования в жидкости (рис. 3). Лазерная дифракция обладает рядом важных преимуществ перед «классическими» методами измерения, такими как рассев, седиментация или анализ по изображению: краткое время проведения анализа, хорошая воспроизводимость и точность, простая калибровка, большой диапазон измерений и большая гибкость. Таким образом, в настоящее время она нашла широкое применение во всем мире и добилась успехов по сравнению с другими методами.

Область измерения Analysette 22 MicroTec plus с блоком диспергирования в жидкости составляет 0,08–2000 мкм. Более крупные пробы сначала могут быть отсеяны, затем же результаты рассева могут быть легко интегрированы в лазерно-дифракционный анализ.

Результат и интерпретация. Интервалы построения дифференциально-столбчатой диаграммы имеют значения от 5 мкм до 160 мкм. Выбор области построения обусловлен следующими факторами:

1. В данной работе использовалось сито с размером ячейки в 100 мкм, следовательно, максимально допустимый размер проходимых частиц по диагонали квадратной ячейки будет равным 141 мкм. Совмещая полученную цифру со стандартной логарифмической шкалой Гамма-Батурина максимально допустимый размер принят как 160 мкм;

2. Минимально возможный размер обогащаемой фракции на гидросепараторе – 5 мкм, этот размер и был принят в качестве начального для построения диаграммы (рис. 4).

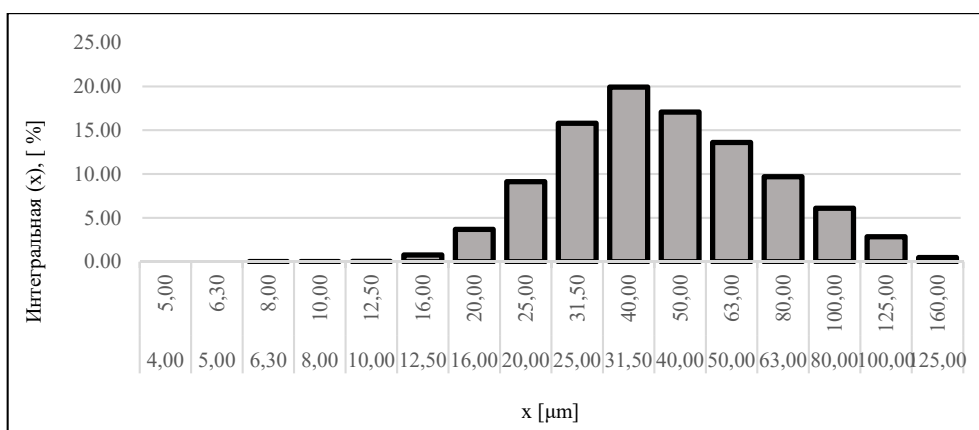


Рис. 4. Гранулометрическое распределение частиц в пробе

Интегральное (накопительное) распределение показало, что после применения метода контролируемого истирания фракция меньше 50 мкм составила 67,29 %. Фракция, меньше 63 мкм – 80,89 %, фракция меньше 80 мкм – 90,59 % (табл. 1).

Таблица 1. Результаты лазерно-дифракционного анализа

Размер мин (мкм)	Размер макс (мкм)	dQ(x) (%)	Q3(x) (%)
0,00	5,00	0,00	0,00
5,00	6,30	0,88	8,96
6,30	8,00	0,00	0,89
8,00	10,00	0,00	0,89
10,00	12,50	0,03	0,91
12,50	16,00	0,77	1,68
16,00	20,00	3,69	5,37
20,00	25,00	9,13	14,50
25,00	31,50	15,79	30,30
31,50	40,00	19,92	50,22
40,00	50,00	17,07	67,29
50,00	63,00	13,60	80,89
63,00	80,00	9,70	90,59
80,00	100,00	6,09	96,68
100,00	125,00	2,84	99,52
125,00	160,00	0,74	99,99

Стоит отметить, что особенность лазерно-дифракционного анализа – это аппроксимация измеряемых частиц в шар, тогда как в реальном случае они могут иметь различные коэффициенты уплощенности, анизотропии и т.п. Исходя из того, что хромшпинелид кристаллизуется в кубической сингонии и его кристаллы являются относительно изотропными, можно предположить, что результаты лазерно-дифракционного анализа почти совпадают с реальной картиной распределения фракций по крупности внутри пробы. Таким образом, ясно видно, что контролируемое истирание достигло своих целей:

1. Не было допущено переизмельчения (фракция менее 12,5 мкм составляет всего 0,91 %), т.е. сохранены первоначальные свойства взаимоотношений платиноидов и сульфидов.

2. Было достигнуто ожидаемое вскрытие частиц размером до 50 мкм (63,29 %), до 63 мкм (80,89 %), т.е. практически все зерна сульфидов высвобождены из хромитов.

Библиографический список:

1. Аликин О. В., Горбунов А. А., Хасиятов Д. Ф. Применение метода гидросепарации для изучения тяжелой фракции (на примере отложений россыпи реки Куклянда) // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении. Научные чтения памяти П.Н. Чирвинского: сб. науч. ст./ отв. Ред. И.И. Чайковский; Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2017. Вып. 20. с. 13–21.

2. Уэйджер Л., Брун Г. Расслоенные изверженные породы. М.; Мир, 1969. 552 с.

3. Kinnaird J.A. The Bushveld Large Igneous Province. Witwatersrand University, 2010. 39 p.

4. Rudashevsky N., Garuti G., Kretser Yu., Rudashevsky V., Zaccarini F., Andersen J. The separation of accessory minerals from rocks and ores using the hydroseparation (HS) technology – method and application to the CHR-2 chromitite of the Niquelandia intrusion, Brazil // In: Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy / Brazil, Applied earth science, 2002. Vol. 307. pp. 87–94.

5. Scoates J. S., Corey J. W. Geochronology of layered Intrusions. In: Charlier B., Namur O., Latypov, R. & Tegner, C. (ed.) Layered Intrusions. New York, Springer Geology, 2015, pp. 1–74.

6. Tomilina E. M., Veksler I. V., Trumbull R. B. Chromitite layers of the Middle group, Thaba mine, Western Bushveld, South Africa. Moscow International School of Earth Sciences, 2016. pp. 124–125.

В. С. Широбоков

ПГНИУ, Пермь, shirobokov-vad@yandex.ru

ЛИТОЛОГО-МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПЕСЧАНОЙ ПРОБЫ С УЧАСТКА «БЕЛЬСКИЙ»

В работе описывается литолого-минералогический анализ песчаной пробы, отобранной на участке Бельское Игринского района Удмуртской республики

Ключевые слова: литолого-минералогический анализ, песок, Бельский участок

LITHOLOGICAL AND MINERALOGICAL ANALYSIS OF SAND SAMPLES FROM THE "BELSKY" EXPLORATION FIELD

This paper describes the method of conducting a lithological and mineralogical analysis on the example of a sand sample from the Belsky exploration field of the Igrinsky District of the Udmurtian Republic.

Key words: lithological and mineralogical analysis, sand, Belsky area

Удмуртская Республика расположена на востоке Восточно-Европейской равнины, в том месте, где эта равнина постепенно переходит в Западное Предура-

лье, в междуречье Камы и Вятки. Бельский участок расположен в 10,5 км восточнее посёлка Игра, являющегося административным центром Игринского района Удмуртской республики.

Осадочный чехол на исследуемом участке представлен нижнепермскими терригенными и карбонатными толщами. В тектоническом отношении исследуемый участок находится в пределах Камско-Бельского авлакогена Волго-Уральской антеклизы, являющейся частью Восточно-Европейской платформы.

Лабораторная обработка пробы производилась по схеме (рис. 1).

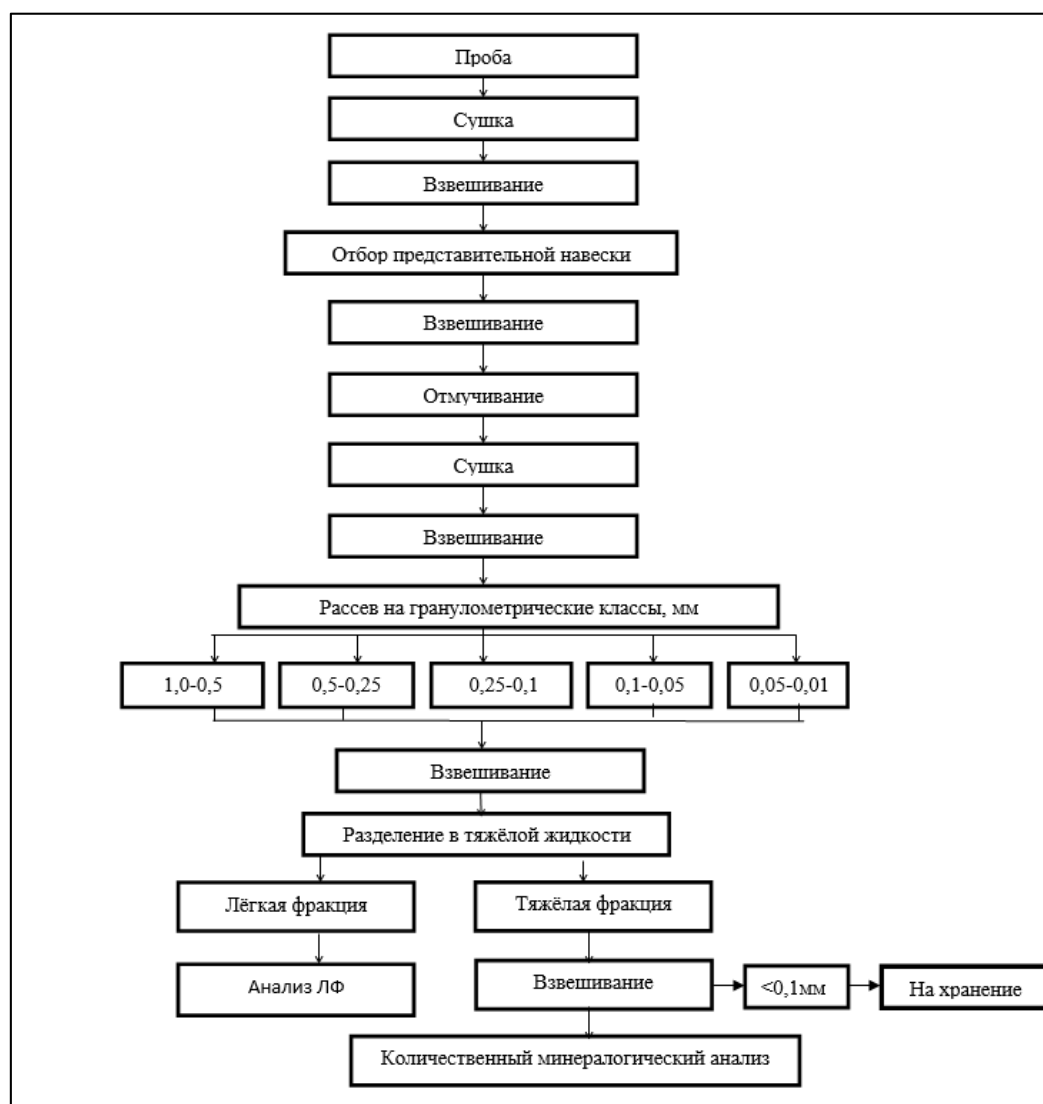


Рис. 1. Схема обработки пробы в лаборатории кафедры минералогии и петрографии ПГНИУ

Для *гранулометрического анализа* от общего объема пробы была взята представительная навеска массой 301,9 г. Масса представительной навески для дробного рассева была определена, исходя из формулы Ричардса-Чечётта (Осовецкий, 1993):

$Q = k \times D^2$, где Q -масса пробы, кг; D -максимальный диаметр обломков, мм; k -коэффициент пропорциональности.

Выделенная навеска взвешивалась на лабораторных весах с точностью до 0,01 г.

Далее производилось отмучивание с целью отделить пелитовый класс ($<0,01$ мм), после которого вес навески составил 291,58 г.

Для рассева использовался механизированный ротап с набором сит с размером ячеек: 0,5; 0,25; 0,1; 0,05.

Выделенные гранулометрические классы были взвешены на лабораторных весах AND HL-4000.

Следующим этапом было *разделение в тяжелой жидкости* необходимое для отделения тяжелых минералов от легких.

В качестве тяжелой жидкости использовался бромформ (CHBr_3), имеющий ряд преимуществ перед другими тяжелыми жидкостями, таких как оптимальное значение плотности ($2,89 \text{ г/см}^3$), позволяющее отделить достаточно распространенные минералы пониженной плотности: кварц ($2,65 \text{ г/см}^3$), полевые шпаты ($2,6 \text{ г/см}^3$), обломки пород (обычно менее $2,7 \text{ г/см}^3$), кальцит ($2,6 \text{ г/см}^3$) и др., а также низкая вязкость ($2,2 \text{ спз}$), всего в двое превосходящая вязкость воды, что очень важно так как способствует эффективной смачиваемости тяжелых минералов.

Как и другие тяжелые жидкости, бромформ ядовит, поэтому работа с ним возможна только в вытяжном шкафу и при строгом соблюдении правил техники безопасности.

Разделение в тяжелой жидкости производилось в чашках. На легкую и тяжелую фракции были разделены все выделенные гранулометрические классы. Масса тяжелых минералов каждого гранулометрического класса измерена на лабораторных весах (AND HL-4000).

Так как разделение в тяжелой жидкости производилось для дальнейшего минералогического количественного анализа, делить на легкие и тяжелые минералы весь песчано-алеврито-глинистый материал не было необходимости, поэтому от каждого гранулометрического класса была взята представительная навеска.

Анализ легкой фракции производился по классам 1,0-0,5; 0,5-0,25; 0,25-0,1. Анализировались выборки из 300 зерен, остальная масса просматривалась на предмет не попавших в выборку минералов. Зерна диагностировались под бинокулярным микроскопом Meiji Techno EMT 2 по их морфологическим особенностям и основным физическим свойствам.

Исследование тяжелой фракции проводилось путем количественного минералогического анализа (Осовецкий, 2009). По причине того, что невозможно детально диагностировать всю совокупность зерен, из каждого гранулометрического класса была взята представительная группа зерен (500 шт.), которая выделялась способом «дорожки». Анализ проводился по песчаным классам (Фролов, 1993). Классы $<0,1$ не анализировались. Зерна диагностировались под бинокулярным микроскопом по их морфологическим особенностям и основным физическим свойствам, были выделены монофракции, определена минеральная ассоциация, вычислен коэффициент устойчивости, сделан вывод, о зрелости коры выветривания.

По *результатам гранулометрического анализа* была составлена таблица (табл. 1) и график распределения гранулометрического состава (рис. 2).

Таблица 1. Гранулометрический состав песчано-алеврито-глинистого материала, %

№ п/п	Исход- ный вес навес- ки, г	Вес пробы после отмучи- вания, г	Классы, мм											
			1,0-0,5		0,5-0,25		0,25-0,1		0,1-0,05		0,05-0,01		<0,01	
			Вес, г	%	Вес, г	%	Вес, г	%	Вес, г	%	Вес, г	%	Вес, г	%
1	301,90	291,58	2,74	0,91	85,32	28,26	181,63	60,16	18,43	6,10	2,93	0,97	10,32	3,42

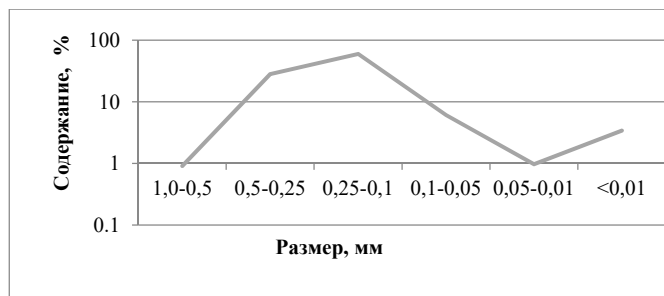


Рис. 2. Логарифмический график распределения гранулометрического состава, масс. %

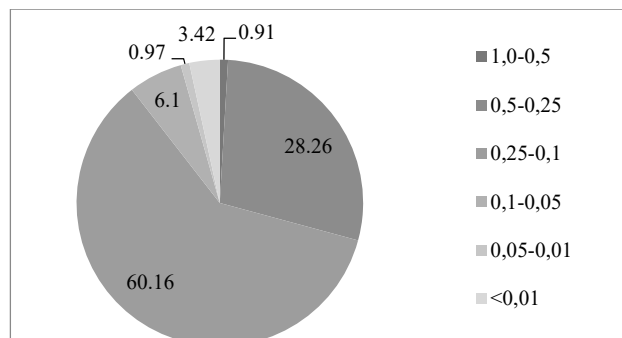


Рис. 3. Гранулометрический состав, масс. %

На графике видно, что максимальное содержание приходится на классы 0,5-0,25 и 0,25-0,1 мм, а минимальное на классы 0,1-0,05 и 0,05-0,01 мм, что может говорить о том, что формирование осадка происходило в разных условиях осадконакопления.

Гранулометрический анализ показал, что в исследуемой пробе преобладают классы 0,5-0,25 мм (28,26 %) и 0,25-0,1 мм (60,16 %). Результат приведен графически (рис. 3.) в виде циклограммы (Фролов, 1964).

На основании гранулометрического анализа исследуемому осадку было дано название: *средне-мелкозернистый песок*.

В результате разделения в тяжелой жидкости на легкую и тяжелую фракцию поделены представительные навески всех выделенных гранулометрических классов. Результаты представлены в виде таблиц (табл. 2,3).

Таблица 2. Гранулометрический состав тяжелой фракции (ТФ), %

№ п/п	Навес- ка, г	Мас- са, г	Вы- ход ТФ, %	Классы, мм									
				1,0-0,5		0,5-0,25		0,25-0,1		0,1-0,05		0,05-0,01	
				Вес, г	%	Вес, г	%	Вес, г	%	Вес, г	%	Вес, г	%
1	301,9	2,04	0,676	0,01	0,49	0,43	21,08	1,11	54,41	0,44	21,57	0,05	2,45

Таблица 3. Выход тяжелой фракции (ТФ), %

№ п/п	Навес- ка, г	Масса ТФ, г	Выход ТФ, %	Классы, мм									
				1,0-0,5		0,5-0,25		0,25-0,1		0,1-0,05		0,05-0,01	
				Вес, г	%	Вес, г	%	Вес, г	%	Вес, г	%	Вес, г	%
1	301,90	2,04	0,675	0,01	0,00	0,43	0,14	1,11	0,37	0,44	0,15	0,05	0,02

Результаты минерального анализа легкой фракции представлены в таблице (табл. 4).

Таблица 4. Минеральный состав легкой фракции

Классы	1,0-0,5		0,5-0,25		0,25-0,1	
Вес ЛФ, г	299,86					
Выход ЛФ, %	99,33					
Минералы	Количество	Доля, %	Количество	Доля, %	Количество	Доля, %
Кремень	75	25,0	47	15,7	67	22,3
Кварц	215	71,7	253	84,3	233	77,7
Обломки пород	10	3,3	-	-	-	-
Сумма	300	100	300	100	300	100

В ходе количественного минералогического анализа тяжелой фракции были выявлены 9 минеральных видов и 1 минеральная группа (рис. 4). Также в классе 1,0-0,5 выявлены обломки пород. Наиболее широкое представление о минеральной ассоциации дает класс 0,25-0,1 мм.

По результатам количественного минералогического анализа была составлена таблица (табл. 5).

Таблица 5. Минеральный состав тяжелой фракции

Классы	1,0-0,5		0,5-0,25		0,25-0,1	
Вес тяж. фр., г	0,01		0,43		1,11	
Выход тяж. фр., %	0,49		21,08		54,41	
Минералы	Количество	Доля, %	Количество	Доля, %	Количество	Доля, %
1. Турмалин	9	22,0	15	3	20	4,0
2. Гематит	4	9,8	50	10	15	3,0
3. Гидрогетит	1	2,4	-	-	70	14,0
4. Ставролит	1	2,4	45	9	30	6,0
5. Циркон	-	-	-	-	5	1,0
6. Гранат	-	-	50	10	15	3,0
7. Хромит	-	-	-	-	5	1,0
8. Лейкоксен	2	4,9	115	23	50	10,0
9. Ильменит	-	-	-	-	5	1,0
10. Гр. Эпидота	18	43,9	225	45	285	57,0
11. Обломки пород(Q)	6	14,6	-	-	-	-
Сумма	41	100,0	500	100	500	100

По преобладающим минеральным видам ассоциация была названа лейкоксен(10)- эпидотовой(57).

Минералогический анализ показал, что в пробе количество аутигенных минералов преобладает над количеством аллотигенных (рис. 5).

Вычисление коэффициента устойчивости производилось по гранулометрическому классу 0,25-0,1 (рис. 6), так как его состав наиболее представительен.

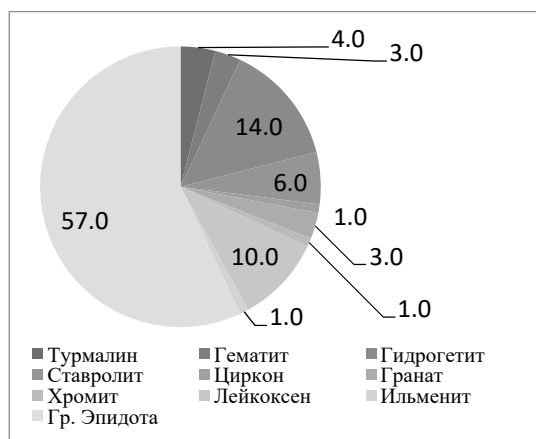


Рис. 4. Минеральный состав тяжелой фракции, %



Рис. 5. Соотношение аллотигенных и аутигенных минералов, %



Рис. 6. Соотношение устойчивых и неустойчивых минералов для класса 0,25-0,1мм, %

$$k_y = \frac{\text{Ильменит}(1) + \text{Турмалин}(4) + \text{Лейкоксен}(10) + \text{Ставролит}(6) + \text{Циркон}(1) + \text{Хромит}(1)}{\text{Гранат}(3) + \text{Эпидот}(57)} = \frac{23}{60} = 0,38$$

Согласно полученным данным, коэффициент устойчивости (k_y) равен 0,38, на основании чего можно сделать вывод том, что *кора выветривания незрелая*.

Библиографический список:

1. Осовецкий Б. М. Дробная гранулометрия аллювия. Пермь: Издательство ПГНИУ, 1993. 344 с.
2. Осовецкий Б. М. Шлиховой метод. Пермь: Издательство ПГНИУ, 2009. 163 с.
3. Фролов В. Т. Литология. Том 2. М.: Издательство МГУ, 1993. 434 с.
4. Фролов В. Т. Руководство к лабораторным занятиям по петрографии осадочных пород. М.: Издательство МГУ, 1964. 312 с.

В. А. Наумов¹, О. Б. Наумова²

¹ Естественнаучный институт ПГНИУ, naumov@psu.ru

² ПГНИУ, poisk@psu.ru

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ИЗМЕНЕНИЯ ЧАСТИЦ ЗОЛОТА ИЗ ТЕХНОГЕННЫХ РОССЫПЕЙ УРАЛА

Частицы золота из техногенных россыпей Урала проанализированы на электронном микроскопе «Jeols-35». В техногенных россыпях происходит преобразование металла, агрегация и диспергация частиц. В золото-серебрянных фазах, окруженных каймой амальгамы, выявлены наиболее сложные процессы преобразования состава металла. Установлено осаждение золота в железо-марганцевых пленках и налетах на поверхности частиц и в цементе агрегатов, на медной проволоке, на карбонате барьере.

Ключевые слова: техногенные россыпи, золото, физико-химические процессы

PHYSICAL AND CHEMICAL PROCESSES IN GOLD FROM
TECHNOLOGICAL PLACES OF THE URALS

Gold particles from technogenic placers of the Urals were analyzed on a Jeols-35 electron microscope. In technogenic placers, metal conversion occurs, aggregation and dispersion of particles take place. In the gold-silver phases, surrounded by the amalgam border, the most complex processes of metal composition conversion were revealed. Gold deposition in iron-manganese films and deposits on the surface of particles and in cement aggregates, on a copper wire, on a carbonate barrier has been established.

Key words: technogenic placers, gold, physical and chemical processes

Частицы золота из техногенных россыпей Урала проанализированы на электронном микроскопе «Jeols-35». Установлено, что в техногенных россыпях происходит преобразование металла (Банщикова и др., 2010; Ковлеков, 2002; Лунев и др., 2000; Мирзеханова и др., 2014; Норонский, Сафронов, 1988; Наумов, 1994; Наумов, генералов, 1998; Наумов, Наумова, 2019; Хазов и др., 2015; Bowell, R.J., Gize, A.P., Foster, R.P., 1993; Lalomov, A.V. at all, 2017; Mossman, D.J at all, 1999; Naumov V. A., Osovetsky B. M., 2013). При этом может происходить как укрупнение (агрегация), так и уменьшение размера зерен (диспергация). Одним из главных факторов преобразования первичных фаз золота на изученных объектах Урала является преобразование амальгам, изменение содержания металлической ртути и ее соединений, образование и эволюция амальгамированных частиц золота.

Агрегация происходит при цементации золотин пленками ртутной амальгамы. Частицы золота разной пробыности «спаиваются» в единый агрегат. На поверхности такого золота под микроскопом выявлены наросты и новообразования, участки послойных новообразований микронных размеров. После удаления ртути из амальгамированных зерен и агрегатов высвобождаются пористые ажурные агрегаты «нового» хрупкого золота.

Диспергация золота. Нами установлено, что низкортутистые амальгамные каймы на частицах золота являются зернистыми. После удаления ртути такие каймы разрушаются при минимальном механическом воздействии. Образуются пористые агрегаты золота микронного размера, отличающиеся по составу от более крупной матрицы.

В золото-серебрянных фазах, окруженных амальгамными каймами, выявлены наиболее сложные процессы преобразования состава металла. Предположительно здесь проявляются диффузионные и окислительно-восстановительные процессы. Одним из основных продуктов такого преобразования является «ржавое золото» (золото желто-бурой окраски цвета ржавчины).

Каймы «ржавого золота» на частицах более крупных размеров и тонкие фракции золота размером 10–50 мкм, сохраняющиеся после удаления ртути оказались схожими по строению и составу. Они представляют собой корочко-

видные, гроздьевидные агрегаты более мелких частиц, размер которых часто не превышает 1 мкм.

Механизмы изменения минеральных фаз золота в техногенных россыпях практически не отличаются от таковых в природных условиях. Наиболее отчетливые изменения выявлены при поверхностных взаимодействиях первичных золотоносных фаз с ртутью, металлами, водами отвалов. Агрегация, диспергация, изменение состава и рост новообразованного золота происходит при разных физико-химических условиях на поверхности Земли в течение достаточно короткого периода времени: от 1 до 5 лет.

Осаждение золота в Fe-Mn пленках и налетах на поверхности частиц и в цементе агрегатов. При взаимодействии золотоносных фаз с рудными растворами, обогащенными железом и марганцем, на золоте образуются налеты и корочки гидроксидов железа и марганца. Они выступают в качестве цемента, в более крупных агрегатах – песчаниках, гравелитах и конгломератах, характерных для техногенных россыпей.

Исследования на сканирующем электронном микроскопе (увеличения более 100 тысяч раз) выявили наноразмерные детали строения поверхностных налетов на золоте. Установлены агрегаты, сложенные наночастицами вторичных новообразований, отдельные изолированные наночастицы, сложные комбинации разного рода построек. Среди вторичных новообразований различаются наночастицы, по многим признакам напоминающие «новое» нанозолото. По химическому составу в примазках выделены следующие группы: титано-железисто-кремнеземистые, железистые, марганцевые, с повышенным содержанием редких земель, оловосодержащие, кальций-фосфатные (апатитовые), с повышенным содержанием тория (Naumov V. A., Osovetsky B. M., 2013).

Осаждение золота на медной проволоке. В техногенных отвалах обнаружены медные проволоочки с диаметром от 0,5 до 2 мм, сцементированные ртутью и гидрооксидами Fe и Mn. После удаления гидроксидов Fe и Mn, ртути оказалось, что на поверхности медной проволоки образовались псевдоморфозы золота (наросты золота) или произошло замещение золотом поверхности медной проволоки. Доля золота на таких проволоочках составляет до 50 % массы проволоочки.

Минералы свинца. Многими исследователями отмечена повышенная золотоносность свинцовой дробы и минералов, генетически связанных со свинцом. Содержание золота в дробе достигает 20 кг/т. Нами установлены вторичные минералы свинца в ажурной золотой матрице, где весовая доля золота составляет не менее 20 %.

Осаждение золота из растворов на карбонатном барьере.

Пример осаждения золота при разрушении пленок и налетов наблюдали в доводочном цехе золотодобывающего прииска на шлихообогатительной установке (ШОУ). Частицы золота обрабатывали концентрированной азотной кислотой. Раствор с удаленными с поверхности частиц золота железо-марганцевыми пленками поступал в бетонный бункер. Происходило взаимодействие кислотных растворов с карбонатной составляющей бетона. На карбонатном геохимическом барьере золото, химически связанное в пленках железа

и марганца, восстановилось до металлического. При этом стенки бункера интенсивно корродировались за счет нейтрализации кислоты карбонатами стенок бункера. За первый год работы при чистке бункера извлечено несколько сотен граммов золота. При дальнейшей работе ШОУ такого количества золота в бункере не наблюдалось (Наумов, 2010; Наумов, Наумова, 2013; 2014).

Техногенные преобразования золота меняют его крупность, относительную площадь поверхности и плотность, увеличивается микропористость частиц. Поверхность золота становится ажурной, губчатой, в ней появляются многочисленные микрополости и микротрещины. Это неизбежно снижает среднюю плотность зерен, а образующаяся зернистая, дендритовидная поверхность имеет значительно большую площадь по отношению к площади поверхности массивных зерен россыпного золота. В результате снижается смачиваемость зерен водой и уменьшается их гидравлическая крупность.

Из амальгамированных частиц золота в кислой среде (воде техногенных отвалов) выделяется ртуть, на их поверхности образуются пленки и корочки оксидов, гидрооксидов железа и другие соединения. При гидравлическом обогащении крупные тяжелые частицы с высокой гидравлической крупностью (магнетит, магнитные агрегаты, хромит, киноварь, свинцовая дробь и др.) вытесняют из концентрата пластинчатые и новообразованные зерна золота и платиноидов. Зерна с пленками гидроксидов железа приобретают магнитные свойства. Часть крупных частиц и микросамородков золота в сростках с кварцем и другими минералами имеет пониженную гидравлическую крупность. Это также снижает возможность их гравитационного обогащения.

Часть зерен золота из-за пленок оксидов и гидрооксидов железа приобретает сильно- и слабомагнитные свойства, что также способствует их поступлению в отвал. Определенная часть крупных частиц и микросамородков, находящихся в отвалах, представлена сростками с кварцем и другими минералами.

Библиографический список:

1. Банищикова Т. С., Литвинцев В. С., Пономарчук Г. П. Морфологические характеристики техногенного золота и закономерности его пространственного расположения в отвальных комплексах // Россыпи и месторождения кор выветривания: современные проблемы исследования и освоения. Новосибирск: Изд-во ООО «Апельсин», 2010. С. 82–86.
2. Ковлеков И. И. Техногенное золото Якутии. М: Горная книга, 2002. 303 с.
3. Копылов И. С., Наумов В. А., Наумова О. Б., Харитонов Т. В. Золото-алмазная колыбель России. Пермь, 2015. 131 с.
4. Лунев Б. С., Наумов В. А. Мелкое золото – главное золото нашей планеты // Геология и полезные ископаемые Западного Урала. Материалы региональной науч. конфер. Пермь, 2000. С. 50–55.
5. Мирзеханова З. Г., Мирзеханов Г. С., Дебеляя И. Д. Техногенные образования россыпных месторождений золота: ресурсно-экологические аспекты отработки. Хабаровск, ДВО РАН, 2014. 297 с.
6. Неронский Г. И., Сафронов П. П. «Новое золото» в россыпях Приамурья // Глубинное строение океана и его континентального обрамления. Благовещенск: ДВО. 1988. - ч. 3. С. 55–56.

7. *Наумов В. А.* Минерагения и перспективы комплексного освоения золотоносного аллювия Урала и Приуралья. Монография / Пермь: изд-во Пермского нац. исслед. ун-та. 2011. 182 с.
8. *Наумов В. А.* Особенности формирования и распределения благородных металлов в техногенных россыпях и отвалах Урала // Горный журнал. Известия высших учебных заведений. 1994. № 8. С. 39–50.
9. *Наумов В. А.* Концепция управления формированием месторождений на примере техногенных россыпей золота // Естественные и технические науки. 2010. № 2. С. 262–265.
10. *Наумов В. А., Генералов М. Е.* Преобразование золота в процессе техногенеза // Минералогия Урала. III региональное совещание. Т. I. Миасс, 1998. С. 100–103.
11. *Наумов В. А., Наумова О. Б.* Формы нахождения и перспективы освоения золота в природных и техногенно-минеральных образованиях западного Урала // Вестник Пермского университета. Геология. Т. 18. № 1 (2019). С. 55–63.
12. *Наумов В. А., Наумова О. Б.* Взаимодействие золота с ртутью в техногенных отвалах Урала // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 6.
13. *Наумов В. А., Наумова О. Б.* Преобразование золота в техногенных россыпях // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 4.
14. *Наумов В. А., Наумова О. Б., Осовецкий Б. М.* Преобразование рудного золота при выщелачивании // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 6. С. 550–555.
15. *Хазов А. Ф., Наумов В. А., Кудряшова О. С., Наумова О. Б.* Исследование процессов, протекающих в минеральных отвалах золотоплатиновых россыпей // Химическая промышленность сегодня. 2015. № 2. С. 7–17.
16. *Bowell, R. J., Gize, A. P., Foster, R. P.* The role of fulvic acid in the supergene migration of gold in tropic rain forest soils. *Geochim. Cosmochim. Acta.* 1993. 57, 4179–4190.
17. *Freise, F. W.* The transportation of gold by organic underground solutions. *Econ. Geol.* 1931. 26, 412–431.
18. *Lalomov, A. V., Chefranov, R. M., Naumov, V. A., Naumova, O. B., LeBarge, W., Dilly, R. A.* Typomorphic features of placer gold of Vagran cluster (the Northern Urals) and search indicators for primary bedrock gold deposits. *Ore Geol. Rev.* 2017. 85, 321–335.
19. *Mossman, D. J., Reimer, T. O., Durstling, H.* Microbial processes in gold migration and deposition: modern analogues to ancient deposits. *Geosci. Canada.* 1999. 26, 131–140.
20. *Naumov V. A., Osovetsky B. M.* Mercuriferous Gold and Amalgams in Mesozoic–Cenozoic Rocks of the Vyatka–Kama Depression // *Lithology and Mineral Resources.* 2013. Vol. 48, № 3, p. 237–253.
- Bowell, R. J., Gize, A. P., Foster, R. P., 1993; Lalomov, A. V. et al., 2017; Mossman, D. J. et al., 1999; Naumov V. A., Osovetsky B. M., 2013)*
21. *Naumova, O. B., Naumov, V. A., Osovetskiy, B. M., Lunev, B. S., Kovin, O. N.* Nanoforms of Secondary Gold in the Tailings Wastes: Placers of Is River, Russia. *Middle-East J. of Sci. Res.* 2013. 18 (3), 316–320.
22. *Osovetsky B. M., Naumova O. B., Naumov V. A.* Natural processes of nanogold concentrations // 16th International Multidisciplinary Scientific GeoConference. SGEM 2016. Vienna, 2016. Book 6, Vol. 3. P. 105–112
23. *Southam, G., Beveridge, T. J.* The in-vitro formation of placer gold by bacteria: *Geochim. et Cosmochim. Acta.* 1994. 58, 4527–4530.

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ РУДНОЙ И РОССЫПНОЙ ЗОЛОТОНОСНОСТИ НА ЗАПАДНОМ СКЛОНЕ СРЕДНЕГО УРАЛА

Рассмотрены золоторудные формации и их связь с зонами тектоно-магматической активизации четырех возрастов. Россыпеобразующие формации Урала. Мезозой-кайнозойская история развития экзогенных процессов на Урале и их влияние на образование золотоносных россыпей. Речная сеть позднего мезозоя, ее эволюция в кайнозое (формирование поперечных по отношению к Уралу долин). Россыпи золота поперечных долин. Золото в зонах развития кор выветривания.

Ключевые слова: россыпь, золото, Средний Урал, золоторудные формации.

S. B. Kovrizhnykh
Perm State University, svetlanakovrizhnykh@mail.ru

SOME ASPECTS OF ORE AND PLASER GOLD AT THE WESTERN SLOPE OF THE MIDDLE URAL

Gold ore formations and their connection with zones of tectono-magmatic activation of four ages are considered. Placer-forming formations of the Urals. The Mesozoic-Cenozoic history of the development of exogenous processes in the Urals and their influence on the formation of gold-bearing placers. The Late Mesozoic river network, its evolution in the Cenozoic (formation of valleys transverse to the Urals). Placer gold transverse valleys. Gold in the development zones of the weathering crust.

Key words: placer, gold, Middle Ural, gold ore formations.

Россыпная золотоносность уральских месторождений обусловлена эволюцией развития золоторудных объектов и историей формирования собственно россыпей. На восточном склоне Урала золоторудные объекты достаточно детально изучены и оценены как объекты промышленного освоения. Многие из них открыты благодаря изучению россыпной золотоносности.

Золоторудные формации на восточном склоне Урала часто имеют взаимосвязь со структурно-вещественными комплексами зон тектоно-магматической активизации (ТМА). Сопоставляя зоны ТМА и золоторудные объекты А. Г. Баранников (2015) показывает, что из 494 золото-рудных уральских объектов восточного Урала в этих зонах расположены 463 (93,7 %). Значительная золотоносность сопряжена с зонами ТМА четырех возрастов: S-D₂, D₃-C₁, C₁₋₂-MZ₁.

В зонах ТМА S₂-D₂ возраста золотое оруденение сопряжено с дайковыми комплексами преимущественно основного состава и массивами интрузивных пород габбро-диорит-гранодиоритовой формации. Золотоносная продуктивность указанных зон ТМА незначительная: с их структурно-вещественными комплексами связаны всего 30 рудных объектов, или 6,1 %

от числа учтенных. Аналогичные комплексы ТМА второго этапа D₃-C₁ более продуктивны: на Урале с ними связаны 126 из 463 учтенных объектов (25,5 %), рудоконцентрирующей является тоналит-гранодиоритовая формация. Типовые массивы гранитоидов, представляющих ее, развиты в Невьянском, Березовском и Качкарском золоторудных районах. Продуктивность зон ТМА C₁ более низкая: на их долю приходится 20,2 % золоторудных объектов Урала. Среди которых крупных месторождений нет. Отличительная особенность структурно-вещественных комплексов этих зон ТМА – присутствие проявлений, относящихся не только к кварцосодержащим, но и к золото-сульфидной рудной формации (например, Зверевское и Западное на Среднем Урале). Последние сопряжены обычно с небольшими интрузиями, относящимися к монцодиорит-гранитной формации. Рудоконцентрирующими являются также магматиты адамеллит-лейкогранитовой формации и дайковые комплексы обеих формаций.

Зоны мезозойской активизации частично (иногда полностью) перекрывают площади распространения продуктов более древних этапов ТМА, что часто затрудняет установление признаков структурно-вещественных комплексов образований ТМА домезозойского возраста. «Чистых» объектов ТМА мезозойского времени выделено 182 (36,6 % от общего числа). Между тем, всего в пределах зон указанной ТМА находятся 394 объекта; или 79,8 % от общего числа. Таким образом, 43,9 % объектов находится на территориях проявления двух или более этапов активизации (Баранников, 2015).

В ряде случаев полихронность (полиэтапность) в формировании ряда месторождений и рудопроявлений устанавливается определенно (Воронцовское, Непряхинское и др.). Среди 182 объектов, связанных с мезозойской ТМА 46 (25,3 %) приходится на долю месторождений: два из них крупные, 12 средние и 32 мелкие. Наиболее продуктивны Аргаяшско-Светлинская и Карабашско-Балканская зоны мезозойской активизации. К первой приурочено 56 объектов (11,3 %): 44 из них – объекты золото-кварцевой или золото-сульфидно-кварцевой и 12 – золотосульфидной рудных формаций. Среди проявлений первых двух формаций находится крупное Светлинское месторождение, среднее Ивановское и девять мелких Игрицкое, Куйсаринское, Воскресенский участок, Васильевский прииск, Прохоровское и др.

Объекты третьей формации, представлены только рудопроявлениями. В то же время на площади наложения Аргаяшско-Светлинской зоны на Шиловско-Увидьинскую зону ТМА ранне-среднекаменноугольного этапа располагается раннее Непряхинское месторождение. В ней золотосульфидное оруденение прожилково-вкрапленного типа сопряжено с аргиллизитами. Полагается, что они связаны генетически и имеют мезозойский возраст.

При этом месторождения, установленные в пределах развития золото-аргиллизитовой формации представляют новый промышленно-генетический тип золотого оруденения. На территории Урала аргиллизация наиболее масштабно проявила себя на постколлизиионном этапе развития региона и отвечает режиму ТМА. Установлено, что аргиллизиты завершают длительный процесс золотого рудогенеза (Баранников, 2015).

Преобладающим типом коренных месторождений и рудопроявлений золота *на западном склоне Урала* является золото-кварцевый и золото-халькопирит-пирит-кварцевый минералогические типы золото-сульфидно-кварцевой формации, связанные с каледонским и герцинским этапами тектоногенеза. Преобладающая часть запасов коренного золота России, как и в Пермском крае, сосредоточена в месторождениях орогенного типа среди золото-кварцевых и золото-сульфидно-кварцевых руд в терригенных и терригенно-карбонатных толщах.

На западном Урале подобная работа по оценке золоторудных объектов проводилась в ограниченном объеме. Золоторудные месторождения не выявлены. Вместе с тем, установлено несколько десятков участков и точек минерализации, рассматриваемые как золоторудные проявления (Ушков, 2000). Золоторудный потенциал проявлений и точек минерализации детально не оценен. Вместе с тем, для западного Урала обоснованы перспективы открытия золоторудных комплексов, связанных с развитием черносланцевой формации и месторождений типа Карлин (Мазеин и др., 2010).

Россыпеобразующими формациями на Урале являются, главным образом, собственно золоторудные формации. Главными россыпеобразующими формациями золота являются золото-сульфидно-кварцевая и золото-кварцевая. К нероссыпеобразующим формациям относится золотосульфидная формация и золото-аргиллизитовая формация. В золото-сульфидной формации выделяют золото-колчеданные и золото-металлические месторождения. При физико-химических процессах разрушения россыпеобразующих и нероссыпеобразующих формаций может выделяться и перераспределяться хемо и биогенное золото.

По материалам изучения истории формирования россыпей на Урале установлено, что происходило поэтапное высвобождение металла из коренных источников россыпеобразующих формаций в результате их физико-химического разрушения. Интегрированием и концентрированием металла флювиальными потоками в благоприятных геолого-геоморфологических условиях происходил его перенос и отложение в пределах склонов и основании речных долин. В результате процессов механической дифференциации происходил многократный перенос и переотложение металла.

В мезозой-кайнозойской истории развития экзогенных процессов на Урале и связанных с ними золотоносных россыпей выделен ряд тектоно-климатических этапов (Сигов, 1969). Каждый этап имеет своеобразное сочетание тектонической обстановки и климатических условий; специфику протекания процессов россыпеобразования; определенный набор генетических и морфологических разновидностей россыпей; характерные закономерности их пространственного размещения.

В раннем мезозое (триас), в период интенсивных тектонических движений на завершающем этапе герцинского орогенеза, эрозионно-денудационная деятельность в виде механического разрушения и выноса материала (физическое выветривание) существенно преобладала над процессами

химического выветривания. Высвобождение полезного компонента из коренных пород было неполное. Повышенные концентрации золота не формировались. Среднее содержание золота в терригенных толщах нижнего мезозоя близко к его среднему содержанию в размываемых коренных источниках.

В позднем мезозое тектоническая стабилизация территории и гумидный климат обеспечили преобладание процессов химического выветривания, что привело к интенсивному корообразованию (пенепленизации) с весьма совершенной механической осадочной дифференциацией. Образовались в основном аллювиальные россыпи.

В условиях влажного климата и интенсивного химического выветривания создаются благоприятные условия для выработки эрозионных сетей. Наименее устойчивы к экзогенным процессам тектонически ослабленные высокопроницаемые зоны разломов, тектонических надвигов, уступов и иных дислокаций; зоны литологических и стратиграфических контактов, представленные различными по физическим свойствам комплексами пород — участки развития карбонатных, терригенных и сланцевых толщ.

Распределение линейно ослабленных зон подчинено меридионально вытянутым герцинским структурам Урала. Поэтому первичная позднемезозойская речная сеть начала по ним формироваться и имеет меридиональную ориентировку (продольные долины), часто пространственно совпадающую с зонами развития коренного золото-платинового оруденения. В отрицательных структурах образовались эрозионно-структурные депрессии. Они заполнены поздне-мезозойскими терригенными комплексами генетического ряда от элювия до аллювия и консервировали в себе комплексные золото-платиновые россыпи. Из-за значительной продолжительности этих процессов мезозойские эрозионно-структурные депрессии аккумулировали значительное количество высвобожденного металла.

В кайнозое, особенно в плиоцен-четвертичное время, в результате эволюции речной сети и речного перехвата формировались поперечные (по отношению к Уралу) долины. В процессе размыва мезозойских отложений, происходило переотложение полезных компонентов и накопление их в молодых толщах палеоген-неоген-четвертичного возраста, часто с образованием промышленных россыпей. Такие россыпи, связанные с поперечными долинами пространственно совпадают с Восточной зоной, являющейся продолжением Чусовской структурно-эрозионной депрессии. Плиоцен-четвертичные россыпи (рр. Вильва, Сред. и Сев. Рассоха, Бол. и Мал. Шалдинка) – Промысловско-Кушвинская группа, отличаются хорошей сортировкой золота и платины по крупности, установлены в современных долинах Горнозаводского района.

Россыпи золота поперечных долин широко развиты в Красновишерском районе как Велсовско-Улсовская группа россыпей (рр. Сред. и Верх. Велсовские, Посьмака, Сурьи-Казанской, Рассохи и др.). На территории Пермского края установлены мезозойские структурно-эрозионные депрессии (Чусовская, Пашийско-Кузьинская, Вишерско-Висимская, Чикман-Нярская,

Акчимская, Ильявожская, Войская и Колчимская). Такие россыпи также тяготеют к мезозойским структурно-эрозионным депрессиям.

Среди широко распространенных на западном Урале кор выветривания линейного и площадного типа в пределах депрессионных зон развито мелкое и тонкое золото из россыпеобразующих и связанное золото из нероссыпеобразующих формаций (Лунев, Наумов, 2000; Лунев, Наумов, Наумова, 2003). В результате физико-химических процессов переотложения мелкое, тонкое и коллоидное золото могло укрупняться и осаждаться в межзерновом пространстве обломочных образований и на разнообразных геохимических барьерах (Наумов и др., 2005). Вторичные процессы разложения и переотложения золота в зонах развития кор выветривания (например, долина р. Саменки) приводили к заметному укрупнению золота в материале кор выветривания. Механическая дифференциация и перемыв глинистого материала кор выветривания приводил к формированию локально обогащенных линз и зон грубообломочного материала аллювиальных россыпей, подвешенных над зонами развития кор выветривания.

Библиографический список:

1. Баранников А. Г. Научное наследие Анатолия Павловича Сигова, его значение на современном этапе при прогнозной оценке площадей на благороднометалльное оруденение на Урале // Известия Уральского государственного горного университета. УГГУ. Екатеринбург, 2015. С. 34–48.
2. Лунев Б. С., Наумов В. А. Мелкое золото – главное золото нашей планеты // Геология западного Урала. Пермь, 2000. С. 50–56.
3. Лунев Б. С., Наумов В. А., Наумова О. Б. Мелкие ценные минералы в аллювии // Горный журнал. Известия высших учебных заведений. Екатеринбург, 2003. № 6. С. 53–56.
4. Мазеин Д. В., Наумов В. А., Петухов С. Н., Смирнов А. А., Суслов С. Б. Перспективы выявления месторождений золота и платины в черносланцевых толщах Пермского края. Проблемы минералогии, петрографии и металлогении. Научные чтения памяти П. Н. Чирвинского. 2010. № 13. С. 228–233.
5. Наумов В. А., Коврижных С. Б. Основные черты формирования золотоносных россыпей на западном склоне Среднего Урала // Вестник Пермского университета. Геология. Т. 17. № 2. 2018. С. 164–170.
6. Наумов В. А., Лунев Б. С., Наумова О. Б. Мелкие ценные минералы россыпей // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия Естественные науки. Ростов-на-Дону, 2010. № 4. С. 123–126
7. Наумов В. А., Силаев В. И., Чайковский И. И., Мальцева М. В., Хазов А. Ф., Филиппов В. Н. Золотоносная россыпь на реке Большой Шалдинке на Среднем Урале. Пермь, 2005. 92 с.
8. Сигов А. П. Металлогения мезозоя и кайнозоя Урала. М.: Недра, 1969. 269 с.

Н. О. Подчерцев¹, Г. В. Курнаков², В. А. Наумов³
ПГНИУ, ¹ n1ko.n1k@yandex.ru, ² kurnakov_gv@mail.ru, ³ naumov@psu.ru

СТРУКТУРА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ ЗОЛОТА ПРИ РАЗРАБОТКЕ ОДНОЙ ИЗ РОССЫПЕЙ УРАЛА

Перечислены и классифицированы потери золота, возникающие при разработке одной из россыпей Урала, рассмотрены причины возникновения потерь, а также приведены данные экспертных оценок потерь для каждого этапа обогащения.

Ключевые слова: потери, обогащение, мелкое и тонкое золото.

N.O. Podchezertcev¹, G.V. Kurnakov², V.A. Naumov³
¹Perm State University, n1ko.n1k@yandex.ru,
²kurnakov_gv@mail.ru, ³naumov@psu.ru

THE STRUCTURE OF TECHNOLOGICAL LOSSES OF GOLD WHILE DEVELOPING ONE OF THE URAL PLACERS

The losses of gold occurring during the development of one of the Ural placers are listed and classified, the reasons of losses are considered, and the data of expert estimates of losses for each stage of concentration are given.

Keywords: losses, concentration, fine gold.

При извлечении металла из россыпей выделяют два типа потерь – эксплуатационные и технологические. **Эксплуатационные потери**, в свою очередь, подразделяются на нормируемые и ненормируемые. **Нормируемые потери** – потери, связанные с принятой схемой и системой разработки месторождения согласно утвержденному проекту. **Ненормируемые потери** – потери, связанные с непредвиденными обстоятельствами, нарушением технологии ведения горных работ, аварийным состоянием выработок, необходимостью в обеспечении безопасности условий работы и т.д. **Технологические потери** – потери, связанные с качеством промывки, а также с технологией обогащения. Рассмотрим структуру и типы потерь на каждом из технологических этапов отработки россыпи.

На представленном месторождении разработка россыпи осуществляется транспортно-экскаваторным гидравлическим способом. Золотоносная порода извлекается из естественного залегания при помощи экскаваторов, а затем самосвалами транспортируется на обогатительную установку, состоящую из стола размыва, двух последовательных скруббер-бутар и двух эстакад прямооточных шлюзов мелкого и глубокого наполнения.

Потери металла при разработке бортов карьера связаны с рассыпанием материала из ковша экскаватора при погрузке; невзятием золотоносных линз, уходящих за пределы разрабатываемого блока; налипанием некоторого количества золотоносного материала на гусеницы бульдозеров или экскаватора; чрезмерной задиркой кровли. Предотвращение таких потерь производится путем

забора дополнительного объема материала или за счет разубоживания концентраций металла.

Потери при классификации материала происходят на разных этапах, рассмотренных далее. *Потери на столе размыва*, как правило, зависят от человеческого фактора, зависят от опыта рабочих. К ним можно отнести образование просыпей материала при недостаточно близком подъезде самосвала к столу размыва: последующие машины заезжают задними колесами на просыпи, и обогащаемый материал, налипнув на колеса, уезжает вместе с самосвалом, не проходя цикл обогащения; подачу материала струей за пределы стола размыва; коррозию экрана стола размыва.

Потери при промывке и грохочении в скруббер-бутах связаны, в основном, с плохой дезинтеграцией трудноразмываемых глин. Также возникают ненормируемые эксплуатационные потери при аварийных ситуациях, в случаях, когда нарушается целостность цепи аппаратов между скруббер-бутарами, вследствие чего песчано-глинистый материал выходит за их пределы, и тем самым нарушается цикл обогащения.

Согласно заявленной документации, скруббер-бута предназначена для песков с максимальной глинистостью до 40 %, однако оценив разрезы визуально, можно заявить, что минимальная глинистость песков составляет порядка 70 %.

Исходя из двух этих позиций, можно сказать, что технология обогащения песков на рассматриваемом участке россыпи не соответствует требуемым критериям, а сам процесс обогащения приобретает новый вид: внутри скруббер-бутары из-за преобладания глинистой фракции, помимо процессов дезинтеграции и обогащения, происходит налипание материала на куски глины, из-за чего сложно судить о размерах и содержаниях фракций, уходящих в отвалы валунного и гравийно-галечного материала (рис. 1).



Рис. 1. Отвалы валунного и гравийного материала

Как видно из рис. 1, на отвалах валунного материала почти не видно самого валунного материала, т.к. основная его часть – это огромные куски глины, которые не успевают разбиться ни на столе размыва, ни в скруббер-бutare. По-

мимо нарушенной технологии, это объясняется также «погоней за кубажом», когда из-за увеличенного объема порода сама себя выталкивает из скруббер-бутары, не успевая задержаться в ней и пройти полный цикл грохочения.

Также нельзя говорить о наличии глинистых примазок на поверхности галечника в отвале, т. к. более 90 % всего крупногалечного и валунного материала облеплено глиной. Мелкогалечный материал, уходящий в хвосты после полной процедуры обогащения, тоже имеет глинистые примазки, но крайне малые и не на каждой гальке. Также среди мелкогалечного материала в хвостах присутствуют глинистые окатыши. Фактические потери по данным экспертной оценки могут составлять 40–60 % вместо заявленных в проекте 19 %.

Потери при обогащении на наклонных шлюзах рассматривают как эксплуатационные потери. Они связаны с размером и формой частиц золота. Установлено, что мелкое и тонкое золото широко распространено на Урале (Сигов, 1969; Баранников, 2015; Лунев и др., 2003; 2011; Наумов и др., 2010; Наумов, Коврижных, 2017) и в мире (Лунев, Наумов, 2000). Оно находится как в общей глинистой массе аллювия (Наумов и др., 2005), так и часто составляет значительную (до 45 % массы) долю в глинистых примазках на валунах и галечном материале (Наумов и др., 2017). Несмотря на повышенную плотность, до 20 % золота мелких классов в процессе отработки может находиться во взвешенном состоянии в составе глинистой пульпы (Наумов, 1989).

Также возникают потери, связанные с плотностью воды, используемой для дезинтеграции, орошения, взмучивания и переноса золотоносного материала: плотность воды повышается на протяжении всего сезона золотодобычи, что связано с увеличением в ней илового материала, не успевающего осесть за время прохождения воды через систему отстойников. Тем самым повышается и размерность золота, которое не сможет осесть на шлюзах мелкого накопления и вместе с пульпой уйти в хвосты илового материала.

Еще одна причина, по которой могут возникнуть потери, – увеличение объема подачи воды, вследствие чего золото может попросту уноситься потоком воды. Фактические потери по наблюдаемым данным могут достигать 60 % при заявленных в проекте 2 %.

Потери при проведении сполоска связаны, в основном, с человеческим фактором, т.е. с профессионализмом сполосчика-доводчика. Еще одна причина потерь при сполоске – неправильная регулировка количества поступающей воды. Потери при сполоске составляют первые проценты (Наумов и др., 2005).

Потери при доводке концентратов в шлихообогательном цеху связаны с несовершенством используемых схем доводки, применяемого оборудования и режимов его работы. Повышение извлечения в цикле доводки возможно путем применения сочетания различных методов извлечения золота и использования развитых технологических схем доводки, оптимизированных для данного сырья. Как показывает практика, модернизация первичного обогащающего оборудования и его замена на новое и более эффективное приводит к увеличению извлечения мелких и тонких классов золота в черновой концентрат.

Потери свободного золота при доводке достигают 10 % и более. Содержание золота в связанном виде в минералах, агрегатах, гидроксидах железа (гетит-гидрогетите), пленках в пределах специализированных отвалов шлихообогательных установок достигает 50-70 г/т (Наумов, 2010; Наумов, Наумова, 2013).

Выводы. Качество промывки при прочих равных условиях зависит от количества и качества глинистой фракции в песках. Плохо дезинтегрированный материал является причиной потерь золота. Золото теряется с кусками глины и попадает либо в галечный, либо в эфельный отвал. Существует множество технических решений, как увеличить качество дезинтеграции. Однако вопрос до сих пор является нерешенным в удовлетворительной мере, и золото с глиной продолжает попадать в отвалы в достаточно больших объемах. Кроме того, есть методики подсчета потерь, но их точность очень низка. Определить действительные потери золота можно, лишь проведя серьезное опробование.

Необходимо выделить, что на сегодняшний день в производственной добыче золота не ведется оценка дополнительных (неучтенных) потерь золота, которые могут быть связаны с другими формами нахождения золота: золота в сростках, пленочного золота, золота, сорбированного на поверхности глинистых минералов, золота в воде и минеральных растворах. Учесть эти потери без дополнительных исследований невозможно.

Экспертная оценка показывает, что в зависимости от типа источника золота и процессов дифференциации вещества при формировании россыпи такие потери могут как быть несущественными, так и достигать больших значений.

Библиографический список:

1. Баранников А. Г. Научное наследие Анатолия Павловича Сигова, его значение на современном этапе при прогнозной оценке площадей на благороднометалльное оруденение на Урале // Известия Уральского государственного горного университета. УГГУ. Екатеринбург, 2015. С. 34–48.
2. Лунев Б. С., Наумов В. А. Мелкое золото – главное золото нашей планеты // Геология западного Урала. Пермь, 2000. С. 50–56.
3. Лунев Б. С., Наумов В. А., Наумова О. Б. Мелкие ценные минералы в аллювии // Горный журнал. Известия высших учебных заведений. Екатеринбург, 2003. № 6. С. 53–56.
4. Наумов В. А. Золотоносность техногенных отложений разведочных шлюзов // Техногенные отложения и охрана окружающей среды: тез. докл. - Пермь, 1989. С. 8–10.
5. Наумов В. А. Минерагения, техногенез и перспективы комплексного освоения золотоносного аллювия. Диссертация на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук / Пермский государственный университет. Пермь, 2010. 380 с.
6. Наумов В. А., Коврижных С. Б. Основные черты формирования золотоносных россыпей на западном склоне Среднего Урала // Вестник Пермского университета. Геология. Т. 17. № 2. 2018. С. 164–170.
7. Наумов В. А., Лунев Б. С., Наумова О. Б. Мелкие ценные минералы россыпей // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия Естественные науки. Ростов-на-Дону, 2010. № 4. С. 123–126.
8. Наумов В. А., Наумова О. Б. Преобразование золота в техногенных россыпях // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 5. С. 531.
9. Наумов В. А., Пастухов М. С., Хусаинова А. Ш. Золото из песчано-глинистых примазок с валунов россыпи реки Бай-Сют // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении. Научные чтения памяти П. Н. Чирвинского. 2017. № 20. С. 192–196.
10. Наумов В. А., Силаев В. И., Чайковский И. И., Мальцева М. В., Хазов А. Ф., Филиппов В. Н. Золотоносная россыпь на реке Большой Шалдинке на Среднем Урале. Пермь, 2005. 92 с.
11. Сигов А. П. Металлогения мезозоя и кайнозоя Урала. М.: Недра, 1969. 269 с.
12. Лунёв Б. С., Наумов В. А., Наумова О. Б. Мелкие ценные минералы в аллювии Пермского края // Естественные и технические науки. 2011. № 3 (53). С. 250–251.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ДОМАНИКОВОЙ И БАЖЕНОВСКОЙ НЕФТЕГАЗОМАТЕРИНСКИХ СВИТ

В настоящей статье выполнен сравнительный анализ доманиковой и баженовской нефтегазоматеринских свит, которые представляют собой нетрадиционные источники для добычи сланцевой нефти. В основу сравнительного анализа легли литологические и геохимические особенности пород рассматриваемых свит. Установлено, что в литологическом отношении основным минеральным компонентом баженовской свиты является глинистое вещество, а в доманиковой – карбонатное. Обе свиты характеризуются высоким нефтегенерационным потенциалом и находятся в грациях катагенеза МК1-МК3. Выявленные сходства свидетельствуют об обнаружении залежей сланцевой нефти в доманиковой свите.

Ключевые слова: Баженовская свита, доманиковая свита, сравнительный анализ, нефтегазоматеринские породы, геохимические показатели

R. N. Petrova

Perm State University, kitregina Petrova@gmail.com

COMPARATIVE ANALYSIS OF DOMANIK AND BAZHENOV SOURCE HORIZONS

Abstract: In this article, a comparative analysis of the Domanik and Bazhenov oil and gas maternal horizons, which are unconventional sources for the extraction of shale oil, is carried out. The comparative analysis was based on lithological and geochemical features of the rocks of the suites under consideration. It has been established that, in the lithological sense, the main mineral component of the Bazhenov Formation is a clayey substance, and in the Domanik, it is a carbonate. Both suites are characterized by high oil-generating potential and are in gradations of catagenesis MK1-MK3. The identified similarities indicate the discovery of shale oil deposits in the Domanik horizon.

Key words: bazhenov horizon, domanik horizon, comparative analysis, source rocks, geochemical indicators.

Породы, обогащенные сапропелевым органическим веществом, привлекают внимание исследователей уже давно из-за своего высокого нефтегенерационного потенциала. Доманиковая и баженовская свиты являются нетрадиционными источниками углеводородов, представляя собой низкопроницаемые и низкопоровые коллекторы. Особенностью нефтематеринских комплексов является присутствие в них так называемых битуминозных сланцев – пород, сильно обогащенных органическим веществом имеющих смешанный глинисто-кремнисто-карбонатный состав и ярко выраженную сланцеватую текстуру, которые являются перспективными объектами для добычи сланцевой нефти.

Целью данной работы является сравнение особенностей литологического состава, геохимических показателей ОВ в отложениях доманиковой и баженовской нефтегазоматеринских свит.

Доманиковая свита (семилукский горизонт франского яруса верхнего девона и частично турне) впервые была выделена А. Кейзерлингом в 1843 г. в Ухтинском районе Южного Тимана и названа по одноименной реке Доманик, где она была установлена (Алиев, 1978).

Доманиковые отложения широко распространены в пределах Восточно-Европейской платформы, на севере от широты Полярного Урала (и продолжают в акваториях Печорского моря) до Южного Урала на юге. Площадь распространения доманикового горизонта на территории Волго-Уральской превышает 250 тыс. км². Развита отложения в основном в пределах Камско-Кинельской системы впадин (ККСВ) и залегают на глубине 1800-3500 м, их мощность изменяется от 4 до 25 м (Белоконь и др., 1990). В стратотипе доманиковый горизонт (D3dm) сложен битуминозными, кремнисто-карбонатными породами с примесью глинистого материала от 5 до 25 %. Осадконакопление происходило в условиях восстановительной обстановки, связанной с высокой биопродуктивностью фитопланктона. Породы черные, темно-коричневые за счет высокого содержания битуминозного органического вещества от 2,5 до 30 %, часто высококарбонатные 40–70 %, иногда высококремнистые от 0 до 30 %.

Баженовская свита (волжский ярус (титон) верхней юры – низы берриасского яруса нижнего мела) Западной Сибири сложена породами углеродистыми кремнисто-глинисто-карбонатными черными с коричневатым оттенком, массивными, плитчатыми, листоватыми, с прослоями радиоляритов, глинистых известняков, остатками морских фоссилий. Площадь распространения баженовской свиты на территории Западной Сибири превышает 1 млн. км², а с учетом ее стратиграфических аналогов, менее обогащенных органическим веществом, более 2 млн. км². Отложения залегают на глубине 2400-3100 м, их мощность меняется от 10-12 до 35-40 м. Свита трансгрессивно залегает на отложениях верхневасюганской подсвиты или перекрывает аргиллиты георгиевской свиты, и перекрывается глинами верхнетутлеймской подсвиты, фроловской и ахской свит.

Нефтеносные сланцы баженовской свиты представлены в основном четырьмя породообразующими компонентами: глинистыми минералами (22-30 % вес), минералами кремнезема (35-40 % вес), карбонатными минералами (8-52 % вес) и органическим веществом (10-12 % вес), которое в большинстве случаев представлено гелефицированным бесструктурным веществом. Основным источником органического вещества в породах баженовской свиты - зоопланктон (радиолярии).

В породах баженовской и доманиковой свит установлены повышенные концентрации многих элементов: Mo, V, Cu, Zn, Ni, As, Sb, Se, Ag, Au, Ba, Br. Также они характеризуются аномально высокой радиоактивностью исключительно урановой природы, при этом урана на порядок больше, а калия и тория – в разы меньше. Распределение их по разрезу коррелирует с распределением ор-

ганического вещества в породах.

За полувековой период изучения баженовской свиты выявлены нефтепроявления на десятках площадей. Но в отличие от доманиковой свиты, на территории Западной Сибири попутно и в режиме естественного истощения ведется добыча сланцевой нефти. Введены в эксплуатацию участки Салымского, Правдинского, Галяновского и Средне-Назымского и других месторождений. Нефти баженовской свиты, как правило, легкие плотностью от 0,811 до 0,866 г/см³, малосернистые количество серы не превышает пределов 0,11-0,60 %, в отдельных случаях достигает 1 %. Количество смол меняется от 0,12 до 8,3, асфальтенов от 0 до 7 %, твердых парафинов 0,89-3,92 %. Вязкость нефти изменяется в диапазоне от 0,4 до 5,5 МПа*с.

Основными параметрами, которыми можно охарактеризовать нетрадиционные источники углеводородов – доманиковую и баженовскую свиты, являются геохимические данные, полученные при помощи пиролитического метода Rock-Eval:

- ТОС – содержание органического углерода (Сорг) в породе;
- S1 – количество УВ, образующихся при нагревании до 300°C, данные УВ находятся в свободном состоянии в породе;
- S2 – количество УВ, образующихся при нагревании от 300°C до 600°C, которые образуются за счет деструкции керогена;
- Tmax – температура выхода максимума пика S2, характеризует термическую зрелость нефтегазоматеринских пород.

Величина пика S2 характеризует остаточный генерационный потенциал НГМП, то есть то количество УВ, которое еще может сгенерировать данная порода при определенных условиях. Также на основании пиролитических данных рассчитывается водородный индекс, характеризующий генерационный потенциал и тип ОВ. Определяется он как $HI = S2 * 100 / C_{орг}$.

Для доманиковой свиты диапазон концентрации Сорг составляет 0,11-30,40 %. Значения по показателю S1 изменяются в диапазоне от 0,19 до 10,96 мг/г, по показателю S2 от 1,05 до 50,73 мг/г. Комплексное изучение ОВ показало, что в породах доманиковой формации распространен в основном кероген II типа, реже II/III. Значение водородного индекса для нефтематеринских пород доманиковой формации высокое, в диапазоне от 351 до 552 мг УВ/г Сорг. Значения максимальных температур Tmax на начало генерации УВ изменяются от 430 до 467°C, что соответствует градации катагенеза МК1-МК3.

Баженовская свита характеризуется в центральной части бассейна высоким содержанием Сорг свыше 9 %, иногда до 35 %. Степень катагенетического преобразования рассеянного органического вещества баженовской свиты увеличивается от окраинных к центральным и северным районам Западно-Сибирской плиты от ПК3 до МК2-М3. Отражательная способность витринита изменяется от 0,4 до 0,97 %. Значения по показателю S1 изменяются в диапазоне от 1,9 до 23,4 мг/г породы, по показателю S2 от 18,6 до 187,5 мг/г. Значение водородного индекса может варьировать в очень широких пределах – от 368 до 889 мг УВ/г Сорг. Значения максимальных температур Tmax изменяются от 425°C до 470°C.

Сравнительная характеристика доманиковой и баженовской свит представлена в таблице ниже.

На основании сравнительного анализа доманиковой и баженовской нефтегазоматеринских свит, можно сделать следующие выводы. Осадконакопление обеих свит происходило в морских условиях при восстановительном режиме. Главным источником ОВ в доманиковой свите служит преимущественно фитопланктон, а в баженовской – зоопланктон.

Таблица. Сравнительная характеристика доманиковой и баженовской нефтегазоматеринских свит

Характеристики	Доманиковая свита	Баженовская свита
Возраст	D ₃ dm	K ₁ – J ₃ bž
Площадь	500 тыс. км ²	2 млн км ²
Глубина залегания, м	1800-3250	2400-3100
Мощность, м	4-25	10-40
Карбонатность, %	40-70	3-14
Кремнистость, %	0-30	10-50
Глинистость, %	5-25	до 60
Сорг, %	2,5-30	3,1-35
S1, мг/г	0,19-10,96	1,9-23,4
S2, мг/г	1,05-50,73	18,6-187,5
Tmax, °C	400-467	425-470
HI, мг УВ/ г Сорг	351-552	368-889

В литологическом отношении основным минеральным компонентом баженовской свиты является глинистое вещество с содержанием более 60 %, а в доманиковой – карбонатное более 50 %. Обе свиты характеризуются высоким нефтегенерационным потенциалом и находятся в грациях катагенеза МК1-МК3, что соответствует нефтяному окну. Выявленные сходства свидетельствуют об обнаружении залежей сланцевой нефти в доманиковой свите.

Библиографический список:

1. Алиев М. М. Девонские отложения Волго-Уральской нефтегазоносной провинции // Батанова Г. П., Хачатрян Р. О. – М. «Недра». 1978. 216 с.
2. Белоконь Т. В., Гецен Н. Г., Катаева Т. А., Финкель В. Ф., Козлова Л. А. Перспективы нефтегазоносности севера Урало-Поволжья по данным геохимии доманикитов // Геология нефти и газа. 1990. № 3. С.20–23.

АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЙ МЕТОДОВ МАРКЕТИНГА ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ЗАДАЧАМ КУРСА «ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ МАРКЕТИНГ»

Анализируются изменения в стратегии, формах и методах маркетинга транснациональных корпораций на российском рынке смазочных материалов с 1992 по 2017 годы. Приведенные в статье сведения используются автором при чтении курса «Топливо-энергетический маркетинг» для студентов ПГНИУ в качестве примера трансформации основных методов маркетинга в России в постсоветский период.

Ключевые слова: маркетинг смазочных материалов в России, формы и методы маркетинга в постсоветский период.

G. B. Bolotov
Perm State University, grigorijbolotov@yandex.ru

ANALYSIS OF MARKETING METHODS'S CHANGES IN RELATION TO THE AIMS OF THE COURSE «FUEL AND ENERGY MARKETING»

Analyzed changes in the strategy, forms and methods of marketing by transnational corporations on the Russian market of lubricants from 1992 to 2017. The information given in the article is used by the author in reading the course "Fuel and Energy Marketing" for students of the Perm State National Research University as an example of the transformation of the main marketing methods in the post-Soviet period.

Key words: marketing of lubricants in Russia, forms and methods of marketing in the post-Soviet period.

Практически с начала постсоветского периода (с 1992 г. и до конца 2017 г.) автор имел возможность лично участвовать в многочисленных маркетинговых активностях в сфере продаж смазочных материалов и специальных жидкостей ряда крупных транснациональных корпораций топливно-энергетического комплекса на территории России и наблюдать аналогичную деятельность за рубежом.

С 1992 по 1995 гг. работал региональным представителем по Уралу и Западной Сибири в публичной корпорации «BURMA OIL GMBH». С 1996 по 2000 гг. руководил фирмой, которая являлась контрактным партнером компании «Castrol of Central and Eastern Europe».

С 2000 по 2004 гг. возглавлял дилерскую, а с 2005 по 2017 гг. дистрибуторскую компанию (официальный дистрибутор в Пермском крае и Удмуртской республике) транснациональной публичной нефтегазовой компании «British Petroleum» (BP).

С 2005 г. проходил ежегодные обучения за рубежом по менеджменту и маркетингу смазочных материалов, специальных и охлаждающих жидкостей. В процессе тренингов и семинаров детально изучались основные аспекты продвижения товаров и брендов не только компании BP, но и основных конкурентов.

тов, прежде всего «Exxon Mobil Corporation» и «Royal Dutch Shell».

Автор не является специалистом в области маркетинга и не претендует на научно обоснованный подход к изучению данного вопроса. Статья представляет собой лишь попытку проанализировать более или менее ярко выраженные изменения в стратегии, формах и методах маркетинга транснациональных корпораций на рынке смазочных материалов в непромышленном секторе (масла и специальные жидкости для легкомоторной и коммерческой техники) и использовать эти сведения при чтении курса «Топливо-энергетический маркетинг» для студентов дневного и заочного отделений ПГНИУ в качестве примера трансформации основных методов маркетинга в России в постсоветский период.

Упрощенно основные методы маркетинга можно сформировать в три группы:

- 1) всестороннее изучение и прогнозирование рынка;
- 2) коммуникативная (информационная) деятельность и активное воздействие на существующий рынок с целью повышения имиджа продукции или самой компании;
- 3) стимулирование сбыта.

Методы изучения и прогнозирования рынка (опросы, анкетирование, полевые исследования) всегда проводились на высоком уровне. В аналитических исследованиях емкости рынка всегда задействовались ведущие экспертные компании с мировым именем.

Это направление в рассматриваемый период в России не претерпело существенных изменений. Поэтому далее рассматриваются изменения, произошедшие в методах второй и третьей групп.

В конце прошлого века в рассматриваемом секторе рынка в России преобладал сбытовой маркетинг. Корпорации производители смазочных материалов создавали в России дочернюю компанию и осуществляли большую часть своих продаж через дистрибуторскую сеть. Дистрибуторов мало интересовало доведение до потребителя качеств, свойств и преимуществ перед конкурентами реализуемого продукта. Во всех пунктах продаж дистрибуторов и их дилеров клиентам объясняли, что наше масло самое лучшее в мире. Маркетинг осуществлялся так называемыми «партизанскими» (малобюджетными) методами (растяжки, баннеры, реклама в местных СМИ и прочее). Рекламировался скорее не продукт, а дистрибутор, дилер, пункт продажи (название и местоположение компаний, пунктов продаж). Информирование потребителей о товаре со стороны корпораций осуществлялось в основном через официальные сайты, центральные: телевидение, радио и прессу, ориентированную на потенциальных оптовиков, станции технического обслуживания, компаний-перевозчиков и т.д. Обычно дважды в течение года (в весенний и осенний пики продаж) проводились совместные с дистрибуторами акции. Они тоже обычно носили «партизанский» характер. На билбордах, растяжках, изготавливаемых дочерними компаниями, размещалась реклама продукта и, иногда, сведения о дочерней компании. Дистрибутор размещал эту рекламу по городу и «в подвале» приводил сведения о своей компании.

За рубежом в этот период маркетинг был более продвинутым. Поскольку от 20 до 50 % (в различных странах по-разному) объемов продаж осуществлялось дочерними компаниями транснациональных корпораций, они самостоятельно проводили значительную часть централизованных маркетинговых активностей. Уровень рекламы был значительно выше, чем в России. Причем рекламировался в основном товар, его качество.

Значительные средства использовались на поддержку спортивных соревнований (Формула 1, Ралли «Париж-Дакар» и др.), команд и отдельных выдающихся гонщиков, рекламировавших бренды. Дистрибуторам не рекомендовали малобюджетные методы рекламы. Дочерняя компания проводила аттестацию торговых точек всех дистрибуторов и дилеров и предлагала потребителям покупать продукцию только в авторизованных пунктах продаж. Контролируемый производителем маркетинговый бюджет дистрибуторов (обычно 0,5 % от оценочной стоимости товара, реализованного компанией за год) рекомендовалось использовать на поддержку местных спортивных команд (автомобильный, мотоспорт) и популярные локальные соревнования («street racing», заезды на короткие дистанции на взлетных полосах аэродромов, различные соревнования мотоциклистов, мероприятия типа «Уральский ухаб» и т.д.). Существенная часть маркетингового бюджета и производителя и дистрибуторов расходовалась на проведение сравнительных испытаний реализуемых ими продуктов и аналогов конкурентов на крупных предприятиях, станциях технического обслуживания автомобилей.

Примерно к 2005 году Россия по объемам продаж и организации дистрибуторского бизнеса догнала большинство европейских стран и стран других рынков. Рынок в основном сформировался. Дочерние компании производителей начали самостоятельное продвижение продукции ключевым клиентам. Стандартные пропорции объемов продаж между производителем и дистрибуторами начали приближаться к европейскому и мировому уровням. Разница между формами и организацией маркетинга в европейских странах и России исчезла.

Начиная с 2005 г. происходят серьезные изменения в информационном направлении. Отлично организованные сайты компаний производителей сделали общедоступной информацию о качестве всех видов товаров. Достижения в моторостроении привели к необходимости постоянного обновления требований к продуктам, созданию все более технологичных масел и постоянным изменениям в сертификации продуктов. Затраты на создание суперсовременных моторных и трансмиссионных масел стали достигать баснословных сумм. Только сертификация разработанного продукта обходится в несколько миллионов и выше евро. Эти факторы обусловили необходимость формирования так называемых продуктовых линеек и семейств. На лидирующие (бенчмаркинговые) семейства отводится большая часть рекламного бюджета, остальные линейки поддерживаются часто символически.

Появляется интересный тренд. Некоторые высокотехнологичные продукты начинают наделять «репутацией». Лидером этого тренда стала компания BP. Так, в формулу лидера продаж – моторного масла «Кастрол Магнатек 5W40» стали включать молекулы, обладающие магнитными свойствами, позволяющи-

ми им «сливаться» с металлическими частями двигателя. В результате на поверхности внутренних частей двигателя образуется особо прочная пленка, облегчающая его запуск (особенно в холодных условиях). Такие молекулы назвали «умными» – Intelligent Molecules. Умело созданные рекламные клипы и ролики закрепили в сознании миллионов клиентов этот слоган и увеличили объемы продаж. Иногда не менее эффективно применяется метод олицетворения качества продукта с репутацией рекламирующих их публичных лиц. Так уже много лет «лицом» моторного масла Шелл является легендарный гонщик Михаэль Шумахер. Шелл осуществил несколько рекламных проектов с Пеле (Официальный сайт «Шелл» в России, 2019). «Лицом компании» ВР многие годы является футболист Криштиану Роналду.

Необходимость в рекламной поддержке не только продуктов-лидеров продаж привело к тому, что информационное направление начало все более и более трансформироваться в брендинг – деятельность по созданию долгосрочного предпочтения к товару, основанную на совместном усиленном воздействии на потребителя товарного знака, упаковки, рекламных мероприятий, объединенных определенной идеей и характерным унифицированным оформлением, выделяющим компанию среди конкурентов и создающих ее запоминающийся образ. Узнаваемость бренда многие компании топливно-энергетического комплекса считают приоритетным в конкурентной борьбе. Бренд становится основной частью goodwill – нематериальных активов компании. Он применяется не только в традиционных формах (логотипы, товарные знаки, слоганы, фирменный стиль) но и в архитектурном стиле, имидже публичных лиц, производстве художественных фильмов и даже в замене традиционного бреда на более популярный.

Хорошо и правильно созданный бренд начинает приобретать стоимость, иногда сопоставимую со стоимостью материальных активов компании. В качестве примера можно привести приобретение компании Кастрол компанией ВР в 2002 году (Официальный сайт ВР в России, 2019). До этого времени ВР многие годы производила и продавала моторные масла и специальные жидкости под торговой маркой ВР. Объемы продаж и узнаваемость бренда моторных масел крупнейшей корпорации ВР были значительно ниже, чем у Кастрол. ВР решила вопрос радикально: купила относительно небольшую, но высокоэффективную, благодаря научным разработкам и отлично поставленной рекламе бренда, компанию Кастрол с целью увеличения объема продаж масел и жидкостей, изготовленных из продуктов переработки собственной нефти. Goodwill бренда Кастрол составили значительную часть стоимости компании. Начиная с 2003 года, началось постепенное вытеснение масел ВР маслами под торговой маркой Кастрол. В России этот процесс в основном закончился к 2008г. для легкомоторных (легковые автомобили, мотоциклы, катера и т.д.), и к 2017 г – для коммерческих продуктов (большегрузные автомобили и специальная тяжелая техника).

Желание дойти до все более массовой аудитории потенциальных клиентов обусловило смену приоритетов в спонсировании мероприятий корпорациями топливно-энергетического комплекса. Острая конкуренция между Эксон-

Мобил, Ройал Датч Шелл и ВР в гонках Формулы 1, ралли «Париж-Дакар» и других спортивных мероприятиях, демонстрирующих качество производимых ими масел, по-прежнему сохраняется, но основные средства рекламного бюджета стали привлекаться для более массовых мероприятий (прежде всего чемпионаты Европы и Мира по футболу, в меньшей степени хоккею). Компания ВР долгие годы является основным спонсором достаточно популярных среди молодежи фильмов Форсаж (от Форсаж до Форсаж 8), в которых рекламируется моторное масло Кастрол.

Большинство методов стимулирования сбыта за последние 25 лет в рассматриваемом секторе рынка не претерпело существенных изменений. Основным стимулом повышения объемов продаж дистрибуторами со стороны дочерних компаний концернов топливно-энергетического комплекса (производителей) были и остаются бонусы за выполнение полугодовых и годовых планов продаж. Основными маркетинговыми активностями производителя, ориентированными на дистрибуторов, являются различные сезонные акции, акции, связанные с продвижением новых видов продуктов. Совместно с дистрибуторами производители проводят также огромное количество аналогичных маркетинговых активностей, ориентированных на клиентов (как юридических, так и частных лиц).

Вместе с тем и в этом направлении наметилось несколько трендов. Основной связан с перераспределением пропорций объемов продаж между производителями и дистрибуторами. Происходит постепенное вытеснение из рынка дистрибуторов. В сфере маркетинга это выражается увеличением количества активностей, все менее и менее доступных дистрибуторам с финансовой точки зрения. Многие активности дистрибуторам приходится проводить в убыток. Собственная маркетинговая деятельность постепенно сходит на «нет». Дистрибуторы в основном лишь участвуют в совместных с производителями активностях. Таким образом, маркетинговые активности становятся менее разнообразными.

Дистрибуторов все более и более ориентируют на заключение с клиентами долгосрочных и дорогостоящих инвестиционных проектов, не всегда завершающихся успехом. Увеличивается количество дистрибуторов. Новые дистрибуторы часто применяют методы маркетинга, эффективные с точки зрения кратковременного увеличения объемов продаж, но не всегда соответствующие этическим нормам бизнеса и налоговому законодательству. От этого страдает качество маркетинга.

Вместе с текущим экономическим кризисом, развился еще один своеобразный тренд. Серьезное (в разы) сокращение объемов продаж импортных смазочных материалов, вызванное их подорожанием в связи с ростом курсов валют, стимулировало масштабное распространение в России контрафактной продукции. Компании-производители вынуждены были принять ряд мер по усилению защиты своей продукции от подделок. Так, компания ВР с июля 2016 года вынуждена была начать выпускать канистры с многочисленными деталями, дорогостоящими и недоступными для производителей контрафактной продукции: постоянно меняющиеся по дизайну логотипы сверху и на кольцах крышек, защитная фольга на горловине. Но главное – голограммы сверху и сзади кани-

стры с уникальным кодом. Достаточно серьезные способы защиты от контрафакта стали применять и на бочках. Такие дорогостоящие мероприятия полностью оправдали себя.

Появилась специфическая разновидность маркетинга: увеличение продаж дорогих масел через взаимодействие с клиентом, желающим приобрести гарантированно оригинальное качественное масло. Многие продавцы торговых точек недостаточно компетентны и не всегда могут грамотно порекомендовать потребителю выбрать тот или иной вид масла. В рассматриваемом случае продавцу достаточно подчеркнуть, что если клиенту нужно купить действительно не контрафактное масло – то это определенные марки масел Кастрол. Проверить оригинальность канистры можно прямо на месте, зайдя на сайт www.castrol-original.ru/checking (сайт компании ВР, 2019) или позвонив по телефону горячей линии. Введя или назвав по телефону код с голографической наклейки на канистре, клиент читает или прослушивает сообщение: «Поздравляем, Вы купили подлинный продукт (например, Магнатек 5W40) номер (например, 693670) компании Кастрол. Подробности оригинальности и инструкцию по применению товара Вы можете получить на этом сайте». При желании можно узнать дату изготовления партии, какому дистрибутору и когда была отгружена эта канистра. Чаще всего клиенту предлагают также поучаствовать в одной из акций. Вероятность продолжения общения через сайт достаточно велика. Так формируется долгосрочное предпочтение клиента к выбранной торговой марке.

Библиографический список:

1. *Официальный сайт компании ВР в России.* bp.com (Дата обращения 11.03.2019)
2. *Официальный сайт компании Шелл в России.* shell.com.ru (Дата обращения 11.03.2019)
3. *Сайт компании ВР «Проверка подлинности продукции CASTROL».* Castrol-original.ru./checking (Дата обращения 11.03.2019)

Л. В. Сиротенко

Росгеология, АО КамНИИКИГС, siroil@yandex.ru

ГЛУБОКОПОГРУЖЕННЫЕ ПРИРОДНЫЕ РЕЗЕРВУАРЫ. ФАКТОРЫ РАЗВИТИЯ, КЛАССИФИКАЦИЯ

На основе изучения свойств пород, вскрытых в сверхглубоких скважинах, проанализированы основные факторы развития природных резервуаров. Установлено, что решающая роль в формировании глубокопогруженных резервуаров принадлежит глубинным постседиментационным процессам, усиление которых обусловлено тектоническими факторами, флюидоразрывами, статическими и динамическими напряжениями. Предложен вариант классификации глубокопогруженных природных резервуаров.

Ключевые слова: Сверхглубокая скважина, резервуар, глубина, коллектор, вторичные преобразования, факторы, трещиноватость, классификация.

DEEP NATURAL RESERVOIRS. FACTORS FAVORING DEVELOPMENT, CLASSIFICATION

Based on studied properties of rocks in the superdeep boreholes, major factors favoring formation and development of natural reservoirs are analyzed. Analysis has shown that formation of deep-scated rock reservoirs is strongly related to deep possessedimentary processes whose intensification is governed by tectonic factors, fluid fracturing, static and dynamic stresses are considered. The classification for the natural reservoirs of the deep-lying complexes is proposed.

Key word: Superdeep borehole, reservoir, depth, collector, secondary transformation, factors, fracturing, classification.

В соответствии с классическими представлениями под понятием природный резервуар (по И. О. Броду) понимается естественноеместилище для нефти и газа, внутри которого они могут циркулировать, и форма которого обусловлена соотношением коллектора с вмещающими его плохо проницаемыми породами (Ермолкин, Керимов, 2012).

А. Н. Дмитриевский (Дмитриевский, 1993) определяет природный резервуар как «единую систему двух противоположных по отношению к фильтрации флюидов объектов пород-коллекторов и пород-флюидоупоров, в которой отделение одного объекта от другого ведет к разрушению системы и переводу объектов на предшествующий уровень организации». Кроме того, он считает, что природные резервуары и нефтегазоносные комплексы принадлежат к нефтегазоносной ветви иерархии, а не литолого-генетической, поэтому природные резервуары объединяются в нефтегазоносный комплекс (НГК). Часто в одном НГК содержится несколько природных резервуаров, и наоборот несколько НГК образуют единый природный резервуар (Риле, 2011).

На промышленно-освоенных глубинах традиционно выделяют пластовые, массивные и литологически ограниченные со всех сторон типы природных резервуаров (табл. 1) При этом, наибольшее распространение на малых глубинах получили пластовые резервуары.

Таблица 1. Классификация природных резервуаров (Ермолкин, Керимов, 2012)

Типы резервуаров	Стратиграфическая приуроченность коллекторов	Направление движения жидкостей и газов	Возможная максимальная роль энергии, аккумулированной в нефти и газе, по отношению ко всей энергии резервуара
Пластовые Массивные Литологически ограниченные со всех сторон	Выдерживается Не выдерживается Выдерживается	По напластованию По вертикали Локально, ограниченно	Незначительная Значительная Основная

Массивные природные резервуары на промышленно освоенных глубинах встречаются преимущественно в карбонатных отложениях и среди них выделяют однородно-массивные и неоднородно-массивные.

Кроме того, все природные резервуары подразделяются на гидродинамически открытые, полузакрытые и закрытые.

На больших глубинах природные резервуары приобретают новые особенности, связанные с вещественно-структурными преобразованиями пород-коллекторов и флюидоупоров под воздействием геодинамических, теплофизических, гидрохимических и других факторов. Особенностью глубоководнопогруженных природных резервуаров является наличие зон уплотнения, разуплотнения, аномально-высокого пластового давления, сжатия, растяжения, деформирования пород и др. (Шеин, 2006). Зоны глубинных разуплотнений, образующие природные резервуары, обусловлены в основном открытой аномальной трещиноватостью, которая развита в очаговых и линейных зонах разломных деформаций и может охватывать обособленные участки пород с пониженными прочностными свойствами. При этом глубинные разуплотнения, по мнению большинства современных исследователей, являются фундаментальным генетическим свойством Земной коры на глубинах вплоть до 10-20 км (Шеин, 2006, Николаевский, 2006).

Глубоководнопогруженные коллекторы, образующие природные резервуары, относятся к группе сложных коллекторов, и по сравнению с традиционными карбонатными и терригенными породами-коллекторами значительно хуже изучены и обладают еще более сложным строением, как в литологическом, так и в структурно-текстурном плане.

На основании изучения особенностей изменений коллекторских свойств пород, вскрытых в разрезах глубоких и сверхглубоких скважин, пробуренных в России и других регионах мира, установлено, что формирование природных резервуаров на больших глубинах определяется действием сложной системы предпосылок, условий и факторов, которые имеют свои специфические особенности, свойственные только большим глубинам. В значительной мере именно они, а не первичные седиментогенные и фациальные условия, определяют конечный петрографический состав и фильтрационно-емкостные свойства глубоководнопогруженных пластов-коллекторов и флюидоупоров (Прошляков и др., 1987, Сиротенко, 1996, 2003, 2009, 2013, 2014, Сиротенко, Горбачев, 2000, Сиротенко, Сиротенко, 2001, Deep Reservoirs..., 1994, Sirotenko, Gorbachev, 2000).

Степень многообразия и неоднозначность факторов воздействующих на породы в течение длительной геологической истории возрастают с увеличением глубины залегания. Поэтому в отличие от природных резервуаров, залегающих на промышленно-освоенных глубинах, глубоководнопогруженные резервуары характеризуются существенно более сложным и неоднородным строением и соответ-

ственно и большими проблемами при их выделении, оценке и прогнозе.

Согласно схеме зональности коллекторов (Сиротенко, 1996), увязанной с гидродинамическими, гидрохимическими и карстовыми зонами, в интервале глубин до 9 км выделены две крупные зоны улучшения коллекторских свойств пород. Первая зона увеличения фильтрационно-емкостных характеристик соответствует зоне оптимальных коллекторов, выделенной Н.А. Минским (Минский, 1979). Ее появление обусловлено растворением кальцита и переходом монтмориллонита в гидрослюда. Ниже зоны оптимальных коллекторов следует зона уплотнения, где происходит ступенчатое ухудшение коллекторских свойств пород.

Для зоны главного гравитационного уплотнения уменьшение фильтрационно-емкостных характеристик приобретает асимптотический характер, проявляющийся на графиках пористость (проницаемость) – глубина. В первую очередь на глубинах 4–4,5 км происходит резкое снижение проницаемости. Причиной этого является существенное уменьшение радиусов фильтрующих пор вследствие сильного геостатического уплотнения пород на этих глубинах.

На глубинах более 4–5 км из-за неравномерно-напряженного состояния массива пород, благоприятных гидрохимических условий, высокой температуры и давления, повышенной хрупкости пород и прочих глубинных факторов создаются чрезвычайно благоприятные условия для образования трещиноватых, а затем и порово-каверно-трещинных и других типов сложнопостроенных коллекторов.

Наибольшее влияние на эволюцию коллекторских и флюидоупорных толщ, образующих природные резервуары, оказывает структура пустотного пространства пород. Неоднородность пород на различных уровнях (породном и породно-слоевом) является фактором, который усиливает дифференциацию и контрастность преобразований глубинных природных резервуаров.

Особенности трансформации структуры пустотного пространства пород с глубиной выражается в смене преобладающих типов пород. Если до глубины 4–5 км доминирующими в разрезе являются коллекторы порового типа, то глубже наблюдается смена преобладающих типов на трещинные, порово-трещинные, порово-каверно-трещинные и другие.

Одним из факторов, предопределяющих характер развития природных резервуаров на больших глубинах, является содержание остаточной (физически связанной) воды (Сиротенко, 2003). Уменьшение размеров пор у пород-коллекторов с глубиной существенно увеличивает содержание физически связанной воды и снижает для них эффективную пористость и проницаемость. А для флюидоупоров увеличение содержания остаточной воды до 100 % является диагностическим признаком улучшения качества кровли.

В то же время, на больших глубинах определенное значение приобретают и противоположные тенденции. С одной стороны, снижение остаточной водона-

сыщенности происходит с ростом трещиноватости пород, которая возрастает с глубиной. С другой стороны, на больших глубинах наблюдается снижение остаточной воды за счет гидрофобизации поверхности частиц пород, обусловленные изменениями состава и характеристик глинистых минералов и многих других факторов.

Повышенную предрасположенность к трансформации и увеличению пустотного пространства на больших глубинах имеют аргиллиты и глинистые алевролиты. Они изначально обладают значительной вещественно-структурной неоднородностью, слоистостью, низкими прочностными свойствами, слабой химической устойчивостью и присутствием интенсивно разлагающихся (действие каталитического эффекта) органического вещества и карбонатов с образованием агрессивных органических кислот и углекислого газа (Сиротенко, Сиротенко, 2003). При этом, если песчаники и слабоглинистые алевролиты на больших глубинах насыщаются преимущественно газом, то аргиллиты и глинистые алевролиты, благодаря длительной консервации в них жидких углеводородов, асинхронным постгенерационным эмиграционно-аккумуляционным процессам и позднекатагенетическому этапу формирования аккумуляций нефти, образуют природный резервуар с линзовидно-слоистым распределением коллекторов, насыщенных легкой нефтью и газоконденсатами (Сиротенко, Сиротенко, 2001, 2003, Sirotenko, Sirotenko, 2001).

Несмотря на сильнейшее гравитационное уплотнение при благоприятных тектонофизических, термодинамических, гидрохимических и литолого-петрографических предпосылках и факторах коллекторские свойства пород, образующих природные резервуары, даже на глубинах более 5-7 км могут быть сопоставимы или даже выше чем в вышележащих толщах при идентичности литофациальных условий их формирования. Возможность существования и развития коллекторов, по-видимому, распространяется на глубины вплоть до 9-10 км.

Детальное изучение разрезов глубоких и сверхглубоких параметрических скважин показывает, что существование и развитие разноуровневых трещинных систем в условиях неравномерных термодинамических напряжений на больших глубинах для осадочных образований проявляется очень отчетливо и фиксируется в многочисленных физико-химических и текстурно-структурных изменениях пород (Прошляков и др., 1987, Сиротенко, 1996, 2003, 2009, 2013, 2014, Сиротенко, Горбачев, 2000, Сиротенко, Сиротенко, 2001, 2003, Япаскурт, 2005, Deep Reservoirs..., 1994, Sirotenko, Gorbachev, 2000, Sirotenko, Sirotenko, 2001).

На примере терригенных комплексов пород рассмотрим основные факторы формирования природных резервуаров на больших глубинах и проранжируем их в виде многоуровневой системы (рис.1).

Ведущим в предложенной системе предпосылок, тенденций, условий форми-

рования и факторов развития сложнопостроенных природных резервуаров на больших глубинах в терригенных комплексах является наиболее высший иерархический уровень, объединяющий самые мощные по воздействию геолого-тектонические и флюидодинамические факторы.

Существенно на больших глубинах возрастает положительная роль различных разноуровневых неоднородностей в толщах пород, которые благоприятствуют развитию глубинных природных резервуаров.

Все выделенные многоуровневые предпосылки, условия формирования и факторы развития коллекторов лишь с определенной долей условности можно считать независимыми друг от друга. Условность заключается в том, что все эти предпосылки и факторы на каждом подуровне являются взаимозависимыми и так или иначе влияют друг на друга, особенно в масштабах геологического времени.

Например, тектоническое напряжение, являясь достаточно независимым тектонодинамическим фактором, в результате своего воздействия изменяет величину теплового потока, состав и свойства пластовых флюидов, характер постседиментационных преобразований и многое другое. Вместе с тем тектоногенез через действие своих многочисленных процессов и сопутствующих им явлений на протяжении геологической истории продолжает оказывать мощное влияние на процессы литогенеза, а вместе с ними и на формирование природных резервуаров. Это влияние наиболее велико в тектонически-активных регионах, например в рифтогенных впадинах (Япаскурт, 2005).

Совокупность действия всех рассматриваемых факторов определяет наиболее важные характеристики природных резервуаров как в период их формирования, так и в периоды их последующей истории. При этом единство процессов, находящихся на различных уровнях масштабности, позволяет рассматривать природные резервуары как часть самоорганизующейся системы, каковой является осадочная формация.

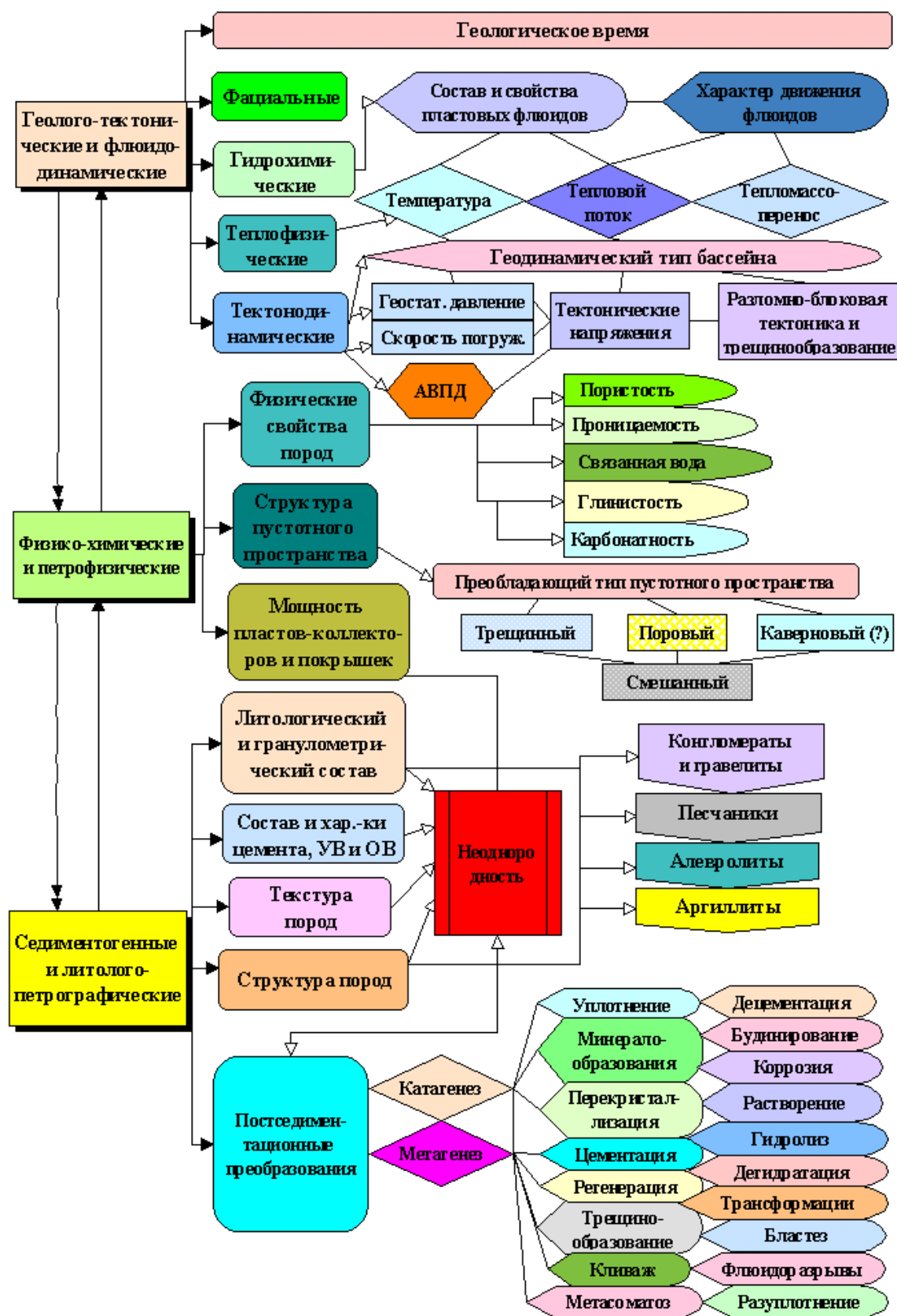


Рис. 1. Структурная схема ранжирования многоуровневой системы основных предпосылок, условий и факторов формирования природных резервуаров на больших глубинах в терригенных комплексах

Проявления процессов в каждой такой системе на протяжении геологической истории могут носить как непрерывный, так и дискретный характер (Япаскерт, 2005).

Седиментогенные и литолого-петрографические предпосылки, условия и факторы составляют наиболее низкий базовый иерархический породный ультрамикроразрешение, отражающий особенности состава и строения породы на уровне минеральных зерен, их агрегатов и кусков породы.

В то же время информация от этого уровня составляет важную часть петрофизического и геолого-тектонического уровня, т.к. литолого-петрографические особенности пород в значительной мере определяют направленность их катагенетических преобразований и тенденций в развитии пустотного пространства. Кроме того, по литолого-петрографическим особенностям строения породы восстанавливается история седиментогенеза и постседиментационных преобразований, обуславливающих изменения свойств и строения пород-коллекторов и флюидопоруд. Поэтому значение этого уровня достаточно велико, особенно в части постседиментационных преобразований.

Физико-химические и петрофизические факторы отражают особенности строения, состава и физико-химических свойств терригенных пород на уровне слоев, пропластков и пластов. Одним из результирующих проявлений данной группы факторов является образование и развитие трещин, пор и каверн за счет многочисленных физико-химических процессов при внедрении в толщи пород глубинных газо-флюидных потоков.

Геолого-тектонические и флюидодинамические предпосылки, условия формирования и факторы являются определяющими и составляют высший уровень в иерархической организации данной системы и отражают особенности строения и развития геологических тел, составной частью которых являются природные резервуары на больших глубинах.

Конечным результатом воздействия тектоно-динамических факторов на глубинные геологические комплексы является образование и развитие в породах трещин и флюидоразрывов, обусловленных дилатансией, импульсными прорывами глубинных флюидных потоков, возможным ростом АВПД и неравномерностью давлений.

Таким образом, для глубокопогруженных природных резервуаров под влиянием многочисленных катагенетических процессов повсеместно наблюдается нарушение прямой фациальной обусловленности коллекторских и флюидопорных свойств пород.

Разработанный вариант классификации сложнопостроенных природных резервуаров в глубокопогруженных нефтегазоносных комплексах проиллюстрирован на рисунке 2.

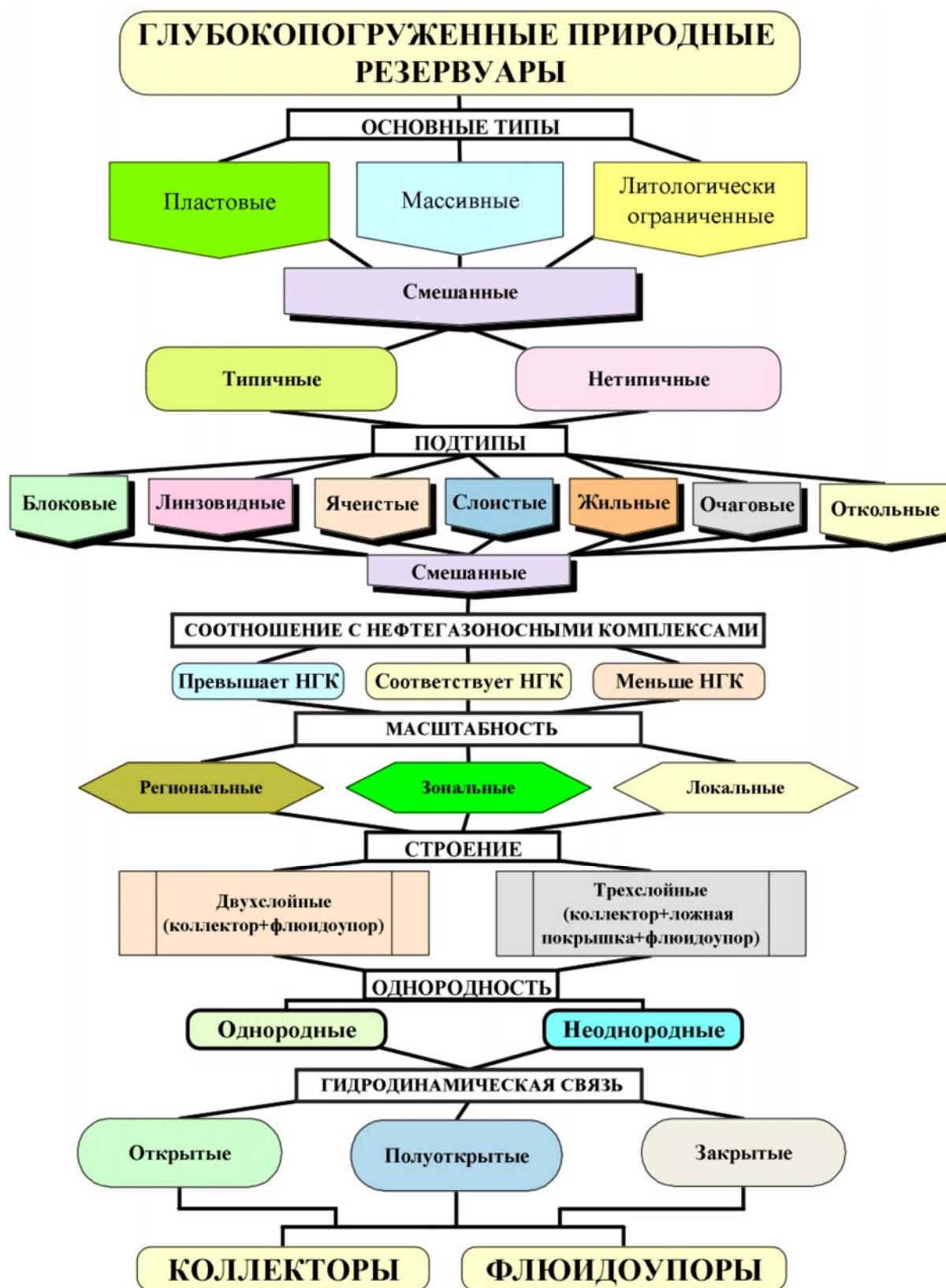


Рис. 2. Классификация глубокопогруженных природных резервуаров

Природный резервуар является сложной геологической системой, состоящей из двух или трех относительно самостоятельных вещественно-структурных подсистем. В случае двухслойного строения природный резервуар объединяет две подсистемы: породы коллекторы и породы флюидоупоры.

В случае трехслойного строения имеется 3 подсистемы: породы коллекторы, породы ложной покрышки и породы истинной покрышки (Прогноз нефтегазоносности..., 1986). Каждая из подсистем является самостоятельным объектом изучения и поэтому имеет свои индивидуальные характеристики литологического состава, структуры, текстуры, петрофизических и геохимических свойств. Соответственно для каждой из них может существовать своя классификация, отражающая те или иные качественные и количественные особенности.

Варианты оценочно-генетических классификаций глубокопогруженных коллекторов и флюидоупоров, разработанные на основе многолетних петрофизических исследований керна из глубоких и сверхглубоких скважин России, рассмотрены в предыдущих работах автора (Сиротенко, 2003, 2016).

Соподчиненность выделенных уровней (рис. 1) соответствует неразрывности и сложности геологических систем, поэтому для надежного выделения и оценки глубинных природных резервуаров необходима информация со всех выделенных уровней системы. В соответствии с этим проблема изучения сложнопостроенных природных резервуаров на больших глубинах не может быть успешно решена в пределах преимущественно одного или двух уровней и требует новых методических решений и подходов для одновременного учета и обработки всей многоуровневой геологической информации.

Библиографический список:

1. Дмитриевский А. Н. Системно-структурный анализ нефтегазоносных осадочных бассейнов // Геология нефти и газа. 1993. № 11. С. 3–5.
2. Ермолкин В. И., Керимов В. Ю. Геология и геохимия нефти и газа. М.: Недра, 2012. 460 с.
3. Минский Н. А. Закономерности формирования поясов оптимальных коллекторов. М.: Недра, 1979.
4. Николаевский В. Н. Трещиноватость Земной коры как ее генетический признак // Геология и геофизика. 2006. Т. 47. № 5. С. 646–656.
5. Прогноз нефтегазоносности локальных объектов на основе выявления ловушек в трехчленном резервуаре / В. Д. Ильин и др. М.: ВНИГНИ, 1986.
6. Прошляков Б. К., Гальянов Т. И., Пименов Ю. Г. Коллекторские свойства осадочных пород на больших глубинах. М.: Недра, 1987. 200 с.
7. Риле Е. Б. Природные резервуары углеводородов – важнейшие элементы нефтегазового осадочного бассейна // Георесурсы, геознергетика, геополитика. М.: ИПНГ РАН. 2011. № 1(3).
8. Сиротенко Л. В. Влияние глубинных факторов на коллекторские свойства пород // Тюменская сверхглубокая скважина (интервал 0-7502 м). Результаты бурения и исследования / Научное бурение в России. Вып. 4. Пермь: КамНИИКИГС. 1996. С. 175–183.
9. Сиротенко Л. В. Глубинные нетрадиционные коллекторы – новый перспективный объект для поисков углеводородов // Разведка и охрана недр. 2003. № 6. С. 14–18.
10. Сиротенко Л. В. Зоны разуплотнений в юрских и пермо-триасовых толщах на севере Западной Сибири (по материалам глубокого и сверхглубокого бурения) // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2009. № 11. С. 66–71.
11. Сиротенко Л. В. Оценочно-генетическая классификация глубинных нетрадиционных коллекторов // Геология и полезные ископаемые Западного Урала. 2003. № 3. С. 155–158.
12. Сиротенко Л. В. Оценочно-генетическая классификация флюидоупоров в глубокопогруженных нефтегазоносных комплексах // Геология и полезные ископаемые Западного Урала. 2016. № 16. С. 116–119.
13. Сиротенко Л. В. Условия формирования сложнопостроенных природных резервуаров на больших глубинах в вулканогенных комплексах пород // Геология и полезные ископаемые Западного Урала. 2014. № 14. С. 81–84.

14. Сиротенко Л. В. Факторы формирования резервуаров плотных пород на больших глубинах // Нетрадиционные ресурсы углеводородов: распространение, генезис, прогнозы, перспективы освоения / Под ред. акад. РАН А. Н. Дмитриевского, Б. М. Валяева. М.: ГЕОС, 2013. С. 243–247.
15. Сиротенко Л. В., Горбачев В. И. Факторы развития коллекторов в нижней части разреза Тюменской сверхглубокой скважины // Геология и геофизика. 2000. Т.41. № 4. С.491–502.
16. Сиротенко Л. В., Сиротенко О. И. Геологические факторы нефтегазоносности глинистых толщ на больших глубинах // Геология нефти и газа. 2001. № 5. С.13–24.
17. Сиротенко О. И., Сиротенко Л. В. Геолого-геохимическая модель развития углеводородных скоплений в глинистых коллекторах на больших глубинах // Разведка и охрана недр. 2003. № 6. С.12–14.
18. Шеин В. С. Геология и нефтегазоносность России. М.: ВНИГНИ, 2006. 786 с.
19. Янакурт О. В. Основы учения о литогенезе. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2005. 379 с.
20. *Deep Reservoirs in Sedimentary Basin* / B. N. Khakhaev, L.V.Sirotenko, T.V.Belokon, V. I. Gorbachev // Proceeding VII-th International Symposium on Observation of the Continental Crust Through Drilling. Santa-Fe, USA, 1994. PP.36–39.
21. *Sirotenko L. V., Gorbachev V.I. Factors Favoring Development of Petroleum Reservoirs in the Lower Part of the Tyumenskaya Superdeep Borehole* // Russian Geology and Geophysics. New York: Allerton Press, Inc., 2000. Vol.41. No.4. PP.478–487.
22. *Sirotenko O. I., Sirotenko L. V. The Inversional Model of the Hydrocarbons Accumulations Forming in the High-maturity Terrigenous Rocks (by Materials of the Superdeep Tumen Well Sg-6)* // XX-th International Meeting on Organic Geochemistry (IMOG 2001). Abstracts. Vandoeuvre-les-Nancy Cedex, France, 2001. P/THU3/08. PP. 395–396.

Д. В. Карасев¹, Т. В. Карасева²

¹ПНИПУ, mr.carasev@yandex.ru

²ПГНИУ, tvkaras@psu.ru

ОСОБЕННОСТИ БУРЕНИЯ И ИССЛЕДОВАНИЯ СКВАЖИН В СКЛАДЧАТО-НАДВИГОВОЙ ЗОНЕ ЗАПАДНОГО УРАЛА

В статье на примере Аракаевской скважины приведены особенности бурения и исследования разреза в Западно-Уральской складчато-надвиговой зоне, позволившие эффективно решить основные задачи. Сделано заключение, что дальнейшее исследование этой малоизученной зоны бурением является важным для повышения ресурсной базы углеводородов.

Ключевые слова: параметрическая скважина, осложнения при бурении, керн, нефтегазоносность, геофизические исследования.

D. V. Karasev¹, T. V. Karaseva²

¹Perm Polytechnic University, mr.carasev@yandex.ru

²Perm State University, tvkaras@psu.ru

PECULIARITIES OF WELLS DRILLING AND RESEARCH IN THE WEST URAL FOLD –THRUST ZONE

In the article, on the example of the Arakaev well, the peculiarities of drilling and exploration of the section in the West Ural fold-thrust zone are given, which made it possible to effectively solve the main tasks. It was concluded that the further study of this insufficiently explored zone by drilling is important for increasing the resource base of hydrocarbons.

Key words: parametric well, drilling complications, core, oil and gas potential, geophysical studies.

Западно-Уральская складчато-надвиговая зона, иногда называемая Передовыми складками Урала и фактически являющаяся продолжением Волго-Уральской и Тимано-Печорской нефтегазоносных провинций, в связи с истощением ресурсов углеводородов в этих провинциях в последнее время все больше привлекает внимание геологов (Проворов и др., 2005). В этом регионе известны многочисленные нефтегазопроявления и открыты даже месторождения, в том числе крупное Вуктыльское нефтегазоконденсатное, однако степень изученности бурением до сих пор остается крайне низкой. Одной из причин такого положения является сложное строение региона, затрудняющее строительство скважин и соответственно их исследование. В результате большинство опорных и параметрических скважин, пробуренных на территории Западно-Уральской складчато-надвиговой зоны, не были доведены до проектной глубины. Основные осложнения связаны с тектоническими дислокациями и напряженным состоянием пород, приводящих к искривлению ствола скважин, обвалам и осыпям. В этом плане интерес представляет недавно эффективно пробуренная АО «НПЦ Недра» (г. Ярославль) за счет федеральных средств Аракаевская параметрическая скважина до глубины 5207 м со вскрытием рифейских отложений, в строительстве которой был использован ранее накопленный опыт. Скважина расположена в Нижне-Сергинском нефтегазоперспективном районе Свердловской области.

По данным АО КамНИИКИГС (2012г.) весь вскрытый скважиной разрез можно подразделить на пять крупных блоков: автохтон (4865-5207 м); паравтохтон (3637-4865 м); аллохтон (0-3637 м). Последние два в свою очередь подразделяются на пассивные и активные пластины: в паравтохтоне выделяются нижняя пассивная (4189-4865 м) и верхняя активная (3637-4189 м); в аллохтоне – нижняя активная пластина (1867-3637 м) и верхняя пассивная (0-1867 м).

Бурение Аракаевской скважины осуществлялось буровой установкой БУ-5000/320 ДГУ-1. Фактическая конструкция скважины по глубинам спуска обсадных колонн практически соответствует проектной, количество колонн даже уменьшено по сравнению с проектным в связи с изменением фактических условий. Проектная и фактическая конструкции скважины представлены в таблице.

Инклинометрические измерения в стволе Аракаевской параметрической скважины выполнены в значительном объеме в интервале 0-5207 м. При измерениях использовалась цифровая аппаратура ION. По данным измерений отклонение ствола скважины изменялись в следующих пределах: в интервале 0-540 м – от 0 до 2°, (азимут от 210 до 270°), 540-880 м – постепенный набор угла до 14°, 880-1110 м – постепенное 245°, 1720-2180 м – постепенное снижение зенитного угла от 13,5 до 3° с изменением азимута до 208-220°, 2180-3600 м – углы от 3 до 0,5°, азимут 200-160°, два набора углов в зоне сочленения аллохтона и паравтохтона в интервалах 3600-3790 м от 0,5 до 5,5° и 4010-4310 м от 1,5 до 6,5°, азимут 165-200° и уменьшения углов до 1° на глубине 4610 м, с глубины 4610 м и до 5207 м углы незначительные от 0,5 до 2°, азимут 175-200°.

Таблица. Конструкция скважины

Диаметр колонны, мм	Диаметр скважины, мм	Глубина крепления, м		Высота подъема цемента
		проект	факт	
630	760	20	16	До устья
426	508	550	508	До устья
324	393.7	1350	1352	До устья
245	295.3	3000	3034	До 197 м от устья
178	215.9	2500-4200	не спускалась	-
168÷127	155.6	5500	не спускалась	-
168	215.9	-	2938-5207	В интервале 2968-5207 м

Вертикальная проекция скважины в плоскости максимального отклонения забоя от вертикали (рис. 1) свидетельствует о наибольшем отклонении в зоне сочленения нижней активной и верхней пассивной пластин аллохтона. По результатам обработки данных инклинометрии вертикальная составляющая глубины скважины при забое 5207 м составляет 5182,46 м (удлинение 24,54 м) и абсолютное отклонение забоя от устья составляет 329 м, (азимут 200-220°).

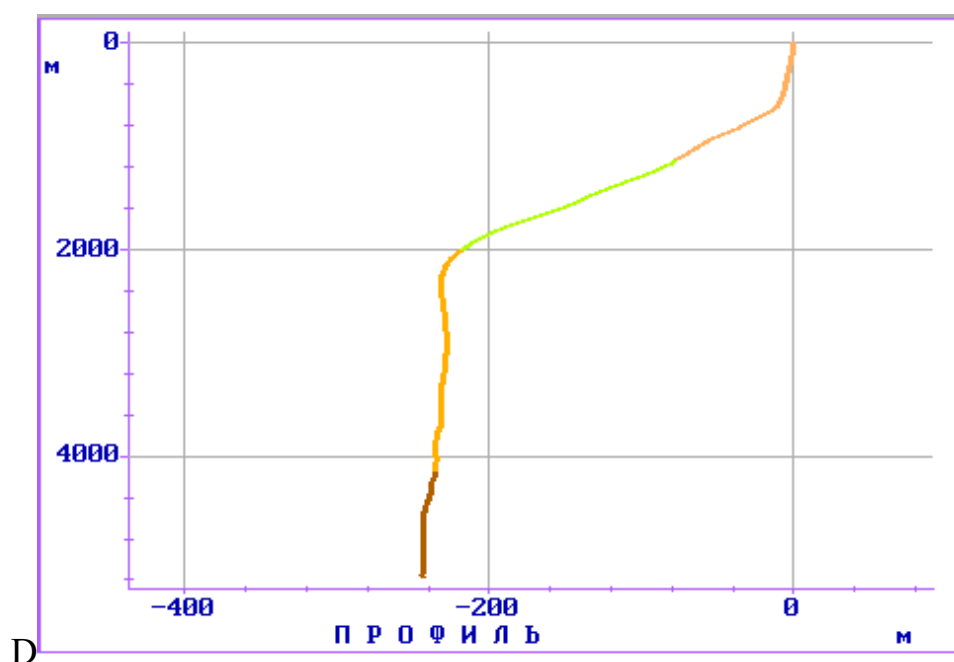


Рис. 1. Вертикальная проекция скважины в плоскости максимального отклонения забоя от вертикали (азимут 220°).

Поглощение промывочной жидкости до 2,5 м³/час проявилось только при расширке интервала 420-460 м и прекратилось после формирования глинистой корки. После вскрытия терригенных отложений девона и протерозоя в автохтоне с глубины 4910 м неожиданно началось формирование эллипсовидного сечения ствола скважины до 400 мм по большой оси и до 250 мм по малой при номинальном диаметре долота 215,9 мм с образованием крупных обломков по-

роды, для разрушения которых потребовались дополнительные затраты времени. Анализ геофизических данных свидетельствует о вскрытии в автохтонной части разреза интервалов развития трещиноватости и разуплотнения. Наиболее четко по ГИС это отмечается в переходной части от отложений девона к рифею (инт. 4860-4930 м), где и проявилось эллипсовидное сечение ствола скважины.

С глубины 5124 м при проработке и бурении наблюдались заклинки долота и низа бурильной колонны крупными обломками породы, которые ликвидировались расхаживанием. На глубине 5161,6 м при бурении с отбором керна произошёл прихват, ликвидированный с помощью ударного механизма, установленного в компоновке низа бурильной колонны. Для дальнейшего углубления проводилась очистка забоя специальными объемными шламоуловителями, которыми поднято из интервала 5170-5178 м около 0,4 м³ обломков породы размерами до 80х50х30 мм.

Дальнейшее бурение скважины до 5207 м в условиях интенсивного обвалообразования проводилось по технологии, заключающейся в поэтапном углублении на возможную глубину, очистке забоя шламоуловителями и цементированием очищенной части. Подобная технология использовалась при бурении Кольской, Уральской, Криворожской сверхглубоких скважин (Карасев и др., 2015), а также используется при бурении эксплуатационных скважин при наличии аналогичных осложнений.

Помимо широкого комплекса геофизических исследований по разрезу скважины выполнен значительный объем литолого-стратиграфического, петрофизического и геохимического изучения керна, который отбирался ниже глубины 1494 м, общий объем составил 856 пог. м (16,4 % от общей глубины скважины). Трудности интерпретации геолого-геофизических материалов по Аракаевской скважине связаны со вскрытием перспективных на продуктивность интервалов на достаточно больших глубинах, где разрез представлен сильно уплотненными и преобразованными породами различного вещественного состава. Терригенные коллекторы сложены преимущественно кварцево-полевошпатовыми песчаниками и алевролитами с пониженными значениями пористости и проницаемости вследствие тектонических преобразований. Карбонатные коллекторы представлены сочетанием поровых, трещинных и кавернозных пород. Все эти особенности сказались на технологии проведения ГИС, информативности комплекса проводимых исследований и их интерпретации. К сожалению, наклонметрия и ориентирование керна при бурении скважины не применялись, что создало большие трудности при определении направления падения пород. При построениях приходилось использовать материалы сейсмических исследований. Ориентируясь на них можно понять только общее положение фронтов надвигов и направления падения пластов.

Некоторые виды работ выполнены в большем объеме, чем запланировано. Это объясняется значительной сложностью разреза Аракаевской скважины, заданной в тектонически сильно нарушенной зоне, в частности, в области ныряющего надвига со значительным числом надвинутых пластин, с явлениями подворота слоев, образованием лежащих складок и др. В зоне надвига породы оказались часто сильно и глубоко измененными, при этом микроскопическое

определение состава пород приводило к ошибкам. Потребовался больший объем точек наблюдения, чем планировалось.

В процессе бурения испытано восемь объектов, в трех из них получены значительные притоки газа, в том числе промышленные, из одного объекта получен приток пластовой воды и газа. Газ обогащен метаном с высоким содержанием тяжелого изотопа ^{13}C , что впервые отмечается для севера Волго-Уральской провинции. В широком диапазоне разреза были выявлены твердые битумы, продукты деструкции нефтей, которые в нижней части паравтохтона образовали крупное скопление, свидетельствующее о разрушении массивной залежи нефти (Аникеенко и др., 2013). Разрушение нефтей произошло вследствие резкого повышения палеотемператур, фиксируемых по значениям отражательной способности витринита, в период проявления надвиговых дислокаций (рис. 2). Хотя детальное изучение битумов также не планировалось, оно было выполнено АО «КамНИИКИГС» и показало развитие разных типов битумов вплоть до антраксолитов. Проведенный широкий комплекс исследований, в том числе бассейновое моделирование процессов нефтегазообразования, позволило реконструировать материнские породы и процессы нефтегазообразования, направления движения углеводородных флюидов и в целом оценить высокие перспективы на газ района бурения, а также дать прогноз возможности открытия нефтеносности в западном и северном направлениях от района бурения (Карасева, 2018).

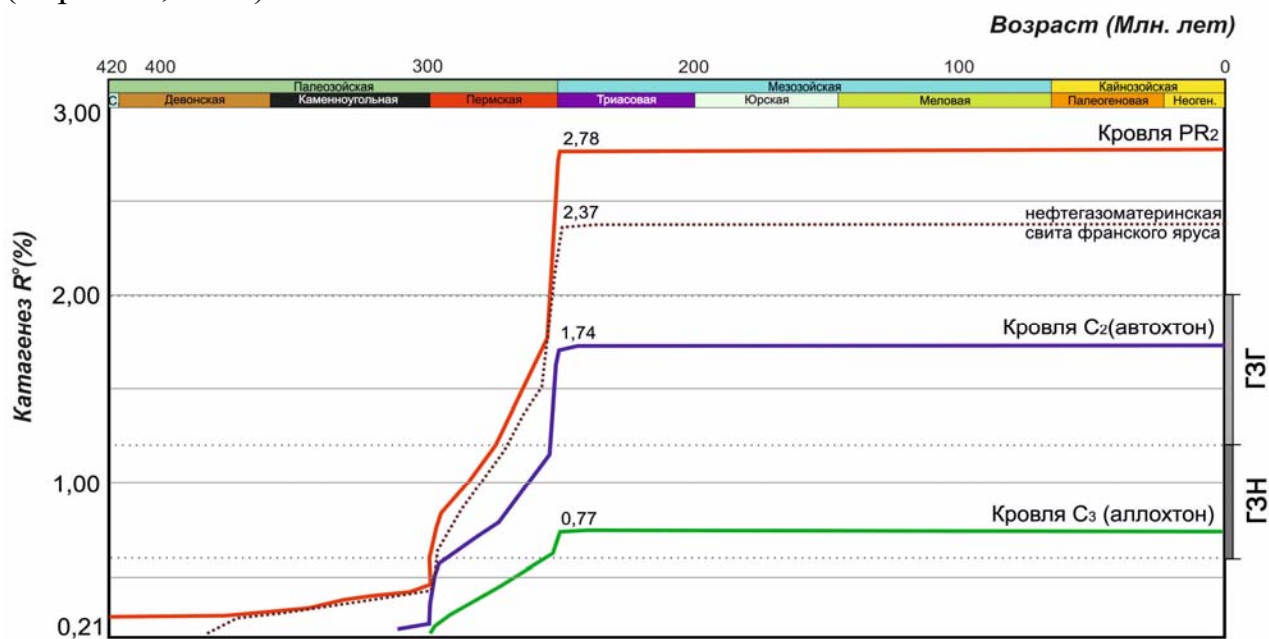


Рис. 2. Эволюция катагенетической «зрелости» органического вещества пород разреза Аракаевской скважины (модель Easy Vitrinite, %, программный комплекс PetroMod).

Таким образом, успешное строительство Аракаевской параметрической скважины глубиной 5207 м до рифейских отложений создает возможность дальнейшего изучения бурением складчато-надвиговой зоны Урала, необходимого для повышения ресурсной базы углеводородов. Для оптимального исследования разрезов скважин помимо значительного комплекса геофизических работ важно предусматривать более широкий комплекс и объем исследований кернового материала в зонах разреза, где наблюдаются проявления надвиговых дислокаций.

Библиографический список:

1. Аникеенко О. М., Карасева Т. В., Хопта И. С. Результаты изучения битумов в разрезе параметрической скважины // Вестник Пермского университета. сер. Геология, Пермь, 2013, Вып. 2 (19), С. 27–29.
2. Карасев Д. В., Щербинина Н. Е., Карасева Т. В. Особенности осложнений при проведении буровых работ на больших глубинах // Нефтегазовое дело, Уфа, 2015, № 4, С. 19–36.
3. Карасева Т. В. Геологическое строение и нефтегазоносность складчато-надвиговой зоны Урала по результатам параметрического бурения // Геология и полезные ископаемые Западного Урала, 1 (38), 2018, С. 126–130.
4. Проворов В. М., Проворов М. В. Современные проблемы науки в региональной науке нефти и газа на севере и западе Урало-Поволжья // Современные наукоемкие технологии. – 2005. – № 11. – С. 74–75;

¹Е. В. Гладкова, ²Е. Е. Кожевникова
ПГНИУ, ¹shestakovaelisaveta@gmail.com,
²eekozhevnikova@bk.ru

ПЕРСПЕКТИВЫ НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ НА ТЕРРИТОРИИ КИРОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Работа посвящена обобщению информации об изучении нефтегазоносности Кировской области. Проанализирована степень изученности региона бурением и сейсмическими исследованиями. Дана краткая характеристика открытых и разрабатываемых месторождений данной области. Оценены перспективы дальнейших открытий месторождений углеводородов.

Ключевые слова: Кировская область, нефтегазоносность, Сырьанская площадь, Золотаревское месторождение, Проворовское месторождение, Верхнекамская впадина, верейский терригенного карбонатный комплекс.

¹ E. V. Gladkova, ² E. E. Kozhevnikova
Perm State University, ¹shestakovaelisaveta@gmail.com,
²eekozhevnikova@bk.ru

PROSPECTS OF OIL AND GAS FIELD IN THE TERRITORY OF THE KIROV REGION

The work is devoted to the compilation of information on the study of the oil and gas potential of the Kirov region. Analyzed the degree of exploration of the region by drilling and seismic studies. A brief description of open and developed fields in this area is given. The prospects for further discoveries of hydrocarbon deposits are estimated.

Key words: Kirov region, oil and gas potential, Syr'yanskaya area, Zolotarevskoye field, Provorovskoe field, Verkhnekamsk depression, Verey terrigenous carbonate complex

Кировская область входит в состав Приволжского федерального округа, расположена в центрально-восточной части Европейской России, относится к северо-западной части Волго-Уральской нефтегазоносной провинции и граничит с субъектами Российской Федерации, где развита нефтедобыча: Пермским кра-

ем, Удмуртской Республикой, Республиками Татарстан и Коми. Поиски залежей нефти на территории Кировской области давно привлекали внимание многих геологов. Еще в 1939 году И.М. Губкин в своей работе «Второе Баку» писал, что структуры Вятских валов представляют значительный интерес в отношении их нефтеносности. И первые же пробуренные здесь скважины в 1954 г (Вожгальская площадь) подтвердили это предположение.

В осадочном разрезе области выделяют следующие шесть нефтегазоносных комплексов: эмско-тиманский терригенный (I); верхнедевонско-турнейский карбонатный (II); визейский терригенный (III); визейско-башкирский карбонатный (IV); верейский терригенно-карбонатный (V); каширско-верхнекаменноугольный карбонатный (VI). Кроме них к потенциально нефтегазоносным также относятся и отложения рифейского терригенно-карбонатного (VII) и вендского терригенного комплексов (VIII).

История изучения нефтегазоносности

Основной объем геологоразведочных работ на территории Кировской области выполнен с пятидесятых по восьмидесятые года прошлого века, при этом пик сейсморазведочных работ и структурного бурения пришелся на 70-80 гг. За весь период поисковых работ выявлено более 70 структур, большая часть которых выявлена сейсморазведкой с низкой плотностью сеймопрофилей, а также структурным бурением (1). В период с 1957 по 1994 года из глубокого бурения с отрицательным результатом выведено 34 структуры. Из них одна располагалась в Великорецкой погребенной седловине (ВПС), две – в пределах Котельничского погребенного свода (КПС), более десяти в Казанско-Кажимском авлакогене (ККА), большая часть располагалась в пределах севера Татарского свода (С-ТС) и Верхнекамской впадине (ВКВ). В настоящее время к выявленным перспективным структурам относится более 40, они расположены по всей территории области за исключением Камского свода (КС), Сыктывкарского погребенного свода (СПС) и Московской синеклизы (МС). Максимальная концентрация подготовленных структур расположена в пределах ВКВ и С-ТС, но подготовленных к глубокому бурению насчитываются единицы (4).

Накопленный материал поисково-разведочных работ, показывает, что нефтегазопроявления или битумопроявления установлены практически по всей площади области (рис. 1). Битумопроявления встречаются в пределах ККА и ВКВ, газопроявления – МС, ВПС, ККА, ВКВ, С-ТС, а нефтепроявления на всем протяжении ККА (2).

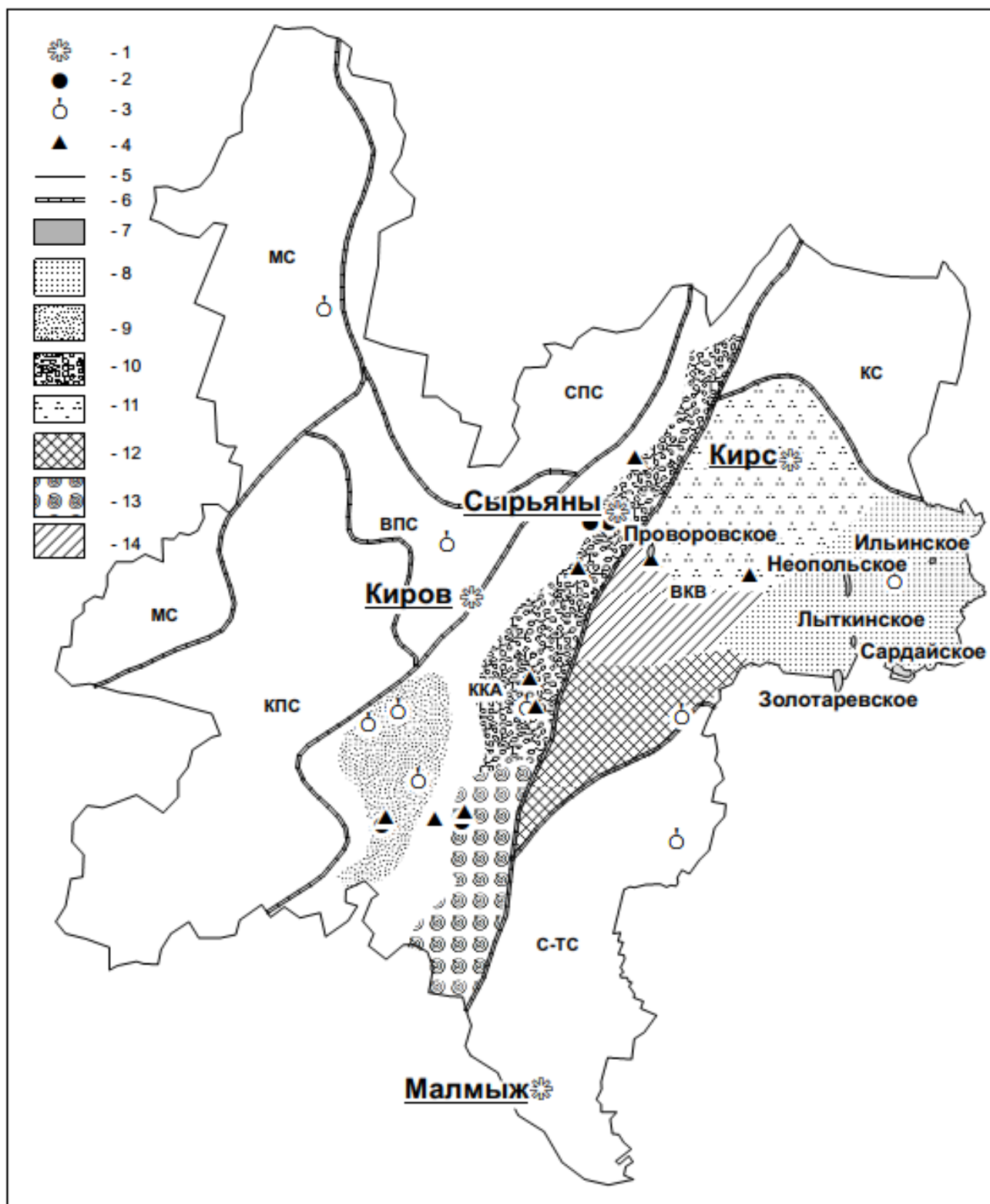


Рис. 1. Нефтегазоносное районирование Кировской области по материалам В. М. Проворова. Условные обозначения: 1 – населенные пункты; 2 – нефтепроявления; 3 – газопроявления; 4 – битумопроявления; 5 – административная граница Кировской области; 6 – границы крупных тектонических структур: КС – Камский свод, ККА – Казанско-Кажимский авлакоген, ВКС – Верхнекамская впадина, СПС – Сыктывкарский погребенный свод, МС – Московская синеклиза, ВПС – Великорецкая погребенная седловина, КПС – Котельнический погребенный свод, С-ТС – Северо-Татарский свод; 7 – месторождения УВ; нефтегазоносные районы: 8 – Бородулинско-Фокинский; 9 – Ивкинско-Кукарский; 10 – Кировский; 11 – Климковский; 12 – Нелюбский; 13 – Уржумский; 14 – Чепецкий.

С учетом тектонического строения и данных по нефтепроявлениям В.М. Проворов и др. провели нефтегазоносное районирование, используемое при планировании работ. Основными нефтегазоносными областями Кировской области являются Верхнекамская (установленная) и Казанско-Кажимская (перспективная). В Верхнекамской нефтегазоносной области выделяются следующие нефтегазоносные районы:

- Бородулинско-Фокинский;
- Верхне-Обвинский;
- Красногорский (подразделяется на Климковский, Чепецкий, Нелюбский).

В пределах Казанско-Кажимской нефтегазовой области выделяют:

- Кировский район;
- Уржумский район;
- Ивкинско-Кукарский район.

Вопрос о развитии промышленной нефтегазоносности на территории рассматриваемой области встал в 1959 году, когда в пределах Казанско-Кажимского авлакогена получен приток нефти из отложений терригенного девона на Сырьянской площади, которая, в связи со сложным геологическим строением (5), так и не была доразведана и признана не промышленной.

Современное состояние нефтегазоносности

Несмотря на первые неудачи, ожидания геологов-нефтяников были оправданы и по данным 01.01.2018 года на государственном балансе запасов нефти в Кировской области числятся пять нефтяных месторождений: Золотаревское, Ильинское, Лыткинское, Неопольское, Проворовское и одно нефтегазовое – Сардайское.

Золотаревское месторождение расположено на границе Омутнинского района Кировской области и Республики Удмуртии. Месторождение открыто на одноименной площади, при опробовании проницаемых пластов в скв. 20 получен газонефтяной фонтан с дебитом нефти 12 м³/сут. и азотного газа 27 тыс. м³/сут. Залежь нефти контролируется структурной ловушкой и относится к пластово-сводовому типу. Месторождение находится в разработке с 1995 года, эксплуатируется 5 скважинами. Залежи нефти открыты в верейском терригенно-карбонатном (ведется разработка) и каширско-верхнекаменноугольном карбонатном (не разрабатывается) комплексах.

Ильинское месторождение расположено в Афанасьевском районе, относится к Бородулинско-Фокинскому нефтегазовому району, Верхнекамской впадине. Залежь нефти открыта в визейско-башкирском карбонатном НГК (залежь не разрабатывается).

Сардайское месторождение – единственное нефтегазовое месторождение (газ азотный), расположено в Афанасьевском административном районе, Бородулинско-Фокинском нефтегазоносном районе, в тектоническом плане относится к Верхнекамской впадине, залежь нефти открыта в визейско-башкирском НГК (залежь не разрабатывается).

Лыткинское месторождение, расположено в Афанасьевском районе, по нефтегазорайонированию относится к Бородулинско-Фокинскому, в тектоническом плане расположено в пределах Верхнекамской впадины, залежь нефти открыта в верейском терригенно-карбонатном комплексе (залежь не разрабатывается).

Неопольское месторождение расположено так же в Афанасьевском районе, в Бородулинско-Фокинском нефтегазовом районе, в Верхнекамской впадине, залежь нефти установлена в верейском терригенно-карбонатном комплексе (залежь не разрабатывается).

Проворовское месторождение расположено на территории Белохолуницкого района, в пределах Чепецкого нефтегазового района, Верхнекамской впадины. По состоянию на 01.01.2018 на месторождении продолжаются работы по геологическому изучению.

Все месторождения по тектоническому районированию находятся в пределах Верхнекамской впадины. В административном положении пять месторождений находятся в северо-восточной части области (Омутнинский, Афанасьевский районы) и одно – в Белохолуницком районе. По нефтегазорайонированию 5 месторождений расположено в Бородулинско-Фокинском районе и одно в Чепецком районе.

Перспективы открытия новых месторождений углеводородов

В ходе обобщения накопленного материала и фактических данных можно говорить, что основным перспективным объектом для открытия новых залежей УВ являются отложения каменноугольной системы в пределах Верхнекамской впадины, где сосредоточены открытые месторождения. В этом отношении также повышенный интерес связан с вершинами Северо-Татарского свода. Однако судьбу Кировской области как перспективного нефтяного региона может решить Казанско-Кажимский авлакоген, который некоторыми исследователями (3) рассматривается как самостоятельная область генерации и аккумуляции нефти в отложениях терригенного девона. В данном регионе интерес представляют пласты песчаников и алевролитов терригенной толщи тимано-пашийского возраста, суммарная мощность которых превышает сотни метров. Кроме коллекторов в данных отложениях выявлена глинистая покрывка мощностью 350-450 м, что указывает на благоприятные условия для формирования ловушек УВ. Также в пределах на территории данной области большой интерес представляют рифогенные объекты различных палеоплато позднедевонско-турнейского мелководного палеошельфа и структуры облекания этих объектов (6).

Выводы

На сегодняшний день очень мало публикаций о нефтегазоносности Кировской области, в опубликованных ранее, как правило, утверждается, что залежи нефти приурочены к девонским отложениям, но это заблуждение. Первый промышленный приток нефти действительно получен из отложений терригенного девона на Сырьяской площади еще в 1959 г., но впоследствии при уточнении

геологического строения и оценке ресурсов, установлено не промышленное значение данной залежи. В настоящее время на территории области открыто и поставлено на государственный баланс запасов УВ шесть месторождений, а разработка ведется только на Золотаревском и начинается пробная эксплуатация на Проворовском месторождениях. Суммарные извлекаемые запасы Золотаревского и Проворовского месторождений превышают 8 миллионов тонн, суммарные запасы четырех не разрабатываемых месторождений области составляют около 3 миллионов тонн.

Все шесть открытых месторождений УВ расположены в пределах Верхнекамской впадины, из них по фазовому состоянию 5 нефтяные и одно нефтегазовое.

Из шести нефтегазоносных комплексов, выделяемых в разрезе осадочного чехла на территории области, залежи открыты в трех: в визейско-башкирском карбонатном (IV); верейском терригенно-карбонатном (V); каширско-верхнекаменноугольном карбонатном (VI), а добыча ведется только из верейских отложений. По существующим данным большинство исследователей основные перспективы для открытия залежей УВ связывают с девонскими и каменноугольными отложениями.

Перспективы открытия новых залежей УВ связаны с отложениями каменноугольной системы в пределах Верхнекамской впадины и Северо-Татарского свода, с отложениями терригенного девона в районе расположения Казанско-Кажимского авлакогена и в рифогенных объектах позднедевонско-турнейского мелководного палеошельфа.

Библиографический список:

1. Анализ фонда перспективных структур на поиски новых месторождений нефти и газа в северной и западной частях Волго-Уральской нефтегазоносной провинции (Текст): научное издание / В. М. Проворов (и др.) // Геол., геофиз. и разраб. нефт. и газ. месторожд. 2009. № 11. С. 13–16, 107. ISSN 0234-1581
2. Геолого-геохимические аспекты нефтеобразования в осадочных толщах Кировской области (Текст): научное издание / Т. В. Белоконь (Карасева), В. М. Проворов // Геол. нефти и газа. 1985. № 3. С. 30–36. ISSN 0016-7894
3. *Имамов Р. Р.* Особенности формирования нефтегазоносности Казанско-Кажимского авлакогена в связи с обоснованием приоритетных направлений геологоразведочных работ: Автореферат дис. канд. геол.-минерал. наук. Пермь: ПГТУ, 2002. 22 с.
4. Основные направления доразведки северных и западных районов Волго-Уральской нефтегазоносной провинции (Текст): научное издание / В. М. Проворов; Перм. дом науки и техн. Союза НИО СССР // Геол. исслед. и охрана окруж. среды на Зап. Урале. Пермь, 1991. С. 58–59
5. О генетической связи зон нефтенакпления в терригенном девоне с мобильными зонами фундамента на территории северной части Волго-Уральской провинции (Текст): научное издание / В. М. Проворов // Вестн. Перм. ун-та. 2007. № 4. С. 26–31. 5. ISSN 1994-3601
6. *Проворов В. М., Фролов С. А., Имамов Р. Р. и др.* Основные результаты и дальнейшие направления нефтепоисковых работ в Кировской области. Результаты глубокого и сверхглубокого бурения, проблемы нефтегазоносности и рудоносности: Сборник научных трудов. Пермь, КамНИИКИГС, 2000. С. 198–205.

РОЛЬ ИЗОТОПНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ПОРОД, НЕФТЕЙ И ГАЗОВ В РАЗВИТИИ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ НА СЕВЕРЕ УРАЛО-ПОВОЛЖЬЯ

В статье рассматривается проблема снижения внимания к изотопным исследованиям органического вещества пород, нефтей и газов, имеющих важное значение для выделения нефтяных (генерационно-аккумуляционных) систем. Приведены некоторые результаты ранее выполненных для севера Урало-Поволжья изотопно-геохимических работ Э. М. Галимовым и под его руководством, существенно повлиявших на повышение эффективности геологоразведочных работ.

Ключевые слова: изотопный состав углерода, нефть, органическое вещество пород, газ, нефтяные системы.

T. V. Karaseva
Perm State University, tvkaras@psu.ru

THE ROLE OF ISOTOPE STUDIES OF ROCKS ORGANIC MATTER, OILS AND GASES IN THE DEVELOPMENT OF GEOLOGICAL EXPLORATION IN THE NORTH OF THE URAL-VOLGA REGION

The article deals with the problem of reducing attention to isotopic studies of rocks organic matter, oils and gases, which is important for the isolation of petroleum (generation-accumulation) systems. Some results of previously performed isotope-geochemical works by EM Galimov and under his leadership for the north of the Ural-Volga region, which significantly increased the efficiency of geological exploration, are presented.

Key words: carbon isotope composition, oil, rocks organic matter, gas, petroleum systems.

Изучение состава стабильных изотопов углерода органического вещества (ОВ) пород, нефтей и газов в настоящее время все больше используется в мировой практике геолого-геохимических исследований и наряду с биомаркерами имеет важное значение для развития геологоразведочных работ (Jia и др., 2013). Во многом это связано с внедрением нового принципа нефтегазгеологического районирования, основанного на выделении нефтяных систем (Ahlbrandt, 2002). Нефтяные (генерационно-аккумуляционные) системы представляют собой комплекс отложений, связанных между собой процессами формирования нефтегазоносности. Они включают нефтегазоматеринские породы, пути миграции углеводородов и зоны их аккумуляции. Ключевым этапом при выделении нефтяных систем является установление генетической связи нефтегазоматеринских пород с нефтями и газами залежей или нефтегазопоявлениями, которая устанавливается по биомаркерам и/или изотопному составу углерода (Peters и др., 2005) и позволяет выявлять пути миграции углеводородов, а следовательно и продуктивные ловушки на этом пути. Развитие таких исследований во

многим повысило эффективность геологоразведочных работ как в старых нефтегазодобывающих, так и в малоизученных регионах (Magoon и др., 2012).

Изотопный состав углерода в природных объектах определяется присутствием двух стабильных изотопов – ^{12}C (около 98,9 %) и ^{13}C (менее 1,1 %) и одного радиоактивного – ^{14}C (менее 0,1 %). Соотношение стабильных изотопов ^{12}C и ^{13}C используется в геохимии для генетических корреляций, в природных объектах оно варьирует от 88 до 94. Сопоставление различных значений изотопного состава стабильных изотопов проводят по относительному приросту ^{13}C в промилле ‰:

$$\sigma^{13}\text{C} = ((^{13}\text{C}/^{12}\text{C})_{\text{обр.}} / (^{13}\text{C}/^{12}\text{C})_{\text{ст.}} - 1) \times 1000,$$

где $\sigma^{13}\text{C}$ – относительный прирост ^{13}C , $(^{13}\text{C}/^{12}\text{C})_{\text{обр.}}$ – отношение изотопов в исследуемом образце, $(^{13}\text{C}/^{12}\text{C})_{\text{ст.}}$ – отношение изотопов в стандарте. За стандарт принят эталон PDB (содержание углерода карбоната кальция в ископаемом организме *Belemnites americana* из формации PD позднемелового возраста, Южная Каролина, США). Величина данного отношения в стандарте – $11,2372 \times 10^{-5}$. Оказалось, что изотопный состав углерода нефтей является довольно устойчивым параметром и не изменяется при многих процессах в недрах, в том числе миграционных, в отличие от ряда биомаркеров (Hoefs, 2009).

К сожалению, в российской практике наблюдается снижение внимания к изотопным исследованиям, что касается и районов Урало-Поволжья. В то же время еще в 60-70х годах прошлого века такие исследования в Пермском крае начал академик РАН Э.М. Галимов (ГЕОХИ РАН), который по договорам с Объединением «Пермнефть» при поддержке главного геолога Винниковского С. А. провел широкий комплекс изучения изотопного состава органического вещества (ОВ) пород, нефтей и газов и один из первых показал (Галимов, 1968, 1973), что основным источником палеозойских нефтей является ОВ доманиковых отложений верхнего девона Камско-Кинельской системы впадин (ККСВ). Признание ККСВ основным источником углеводородов значительно повысило эффективность геологоразведочных работ в Пермском крае. Фактически Пермский край стал первым полигоном в России для апробации изотопных исследований для генетических корреляций нефтей, газов и ОВ пород. В те годы генезис нефтей края широко обсуждался. Если исключить одиозную уже тогда неорганическую теорию, то источниками нефтей предполагались малиновские глины нижнего карбона, существовала гипотеза о миграции основной части нефтей на платформу из девонских и каменноугольных материнских пород Предуралья и даже еще более дальней миграции из Прикаспийской впадины (Абрикосов, 1963). Рядом ученых (Максимов и др., 1975) выдвигалась теория цикличности нефтегазообразования, которая предполагала присутствие материнских пород в каждом нефтегазоносном комплексе и отвергала вертикальную миграцию нефтей.

В последующем сходные работы Э. М. Галимов провел на месторождениях Западной и Восточной Сибири, а также Сахалина, что позволило выявить в этих регионах конкретные нефтегазоматеринские породы. На основе практиче-

ских результатов Э. М. Галимов развивал теоретические основы изотопной геохимии. Известно, что в природе постоянно происходит фракционирование изотопов, которое приводит к неодинаковому распределению между веществами. По Э. М. Галимову в химических реакциях существуют два главных изотопных эффекта – кинетический и термодинамический. Кинетический эффект определяется различием скоростей реакций изотопных форм. Так, изотопная форма, содержащая легкий изотоп, более подвижна и связь ^{12}C – ^{12}C рвется легче, чем связь ^{12}C – ^{13}C в данном соединении. Термодинамический эффект контролируется различием энергетических состояний изотопных форм и определяется величиной β - фактора. В случае изотопов углерода, чем выше β – фактор, тем выше концентрация изотопа ^{13}C . В результате получила развитие теория биогенных изотопных равновесий и внутримолекулярной изотопической неоднородности биоорганических соединений, появилось объяснение механизма фракционирования изотопов углерода в эндогенных процессах, что дало возможность устанавливать отличительные признаки соединений углерода, образованных разным биогенным веществом и абиогенным путем.

Развитию работ по изотопным исследованиям севера Урало-Повожья придавала большое значение заведующая лабораторией КО ВНИГНИ (ныне АО «КамНИИКИГС») А. З. Коблова, под руководством которой М. Г. Фрик, Г. И. Титова и Т. В. Белокоп продолжили изотопные исследования по районам севера Урало-Поволжья. Определения изотопного состава углерода проводились в ГЕОХИ РАН под руководством Э. М. Галимова. Были подтверждены и дополнены полученные ранее результаты, а для нефтей и битумоидов началось изучение на фракционном и даже молекулярном уровнях, осуществлялось определение изотопного состава углерода отдельных углеводородов и даже металлопорфиринов нефтей (Belokon и др., 1979). Установлено, что для выделения нефтегазоматеринских пород важное значение имеет корреляция изотопного состава отдельных фракций нефтей и битумоидов, что впервые было опробовано на нефтях Пермского края (Галимов и др., 1985) и сейчас широко используется в мировой практике (Peters и др., 2005). Сопоставление изотопных кривых, например, нефти Дороховского вала, показало, что из отложений палеозоя только битумоиды верхнефранских пород имеют серповидную форму изотопной кривой, присущую нефти, что характерно для ОВ сапропелевого типа (рис. 1). Это указывает на генетическую связь нефти, как, по-видимому, и всех нефтей продуктивного разреза Дороховского вала, с ОВ доманикитов верхнего девона ККСВ (Галимов и др., 1991).

В то же время возникло много вопросов по интерпретации результатов, которые связаны прежде всего с неоднородностью ККСВ как зоны генерации нефтей и газов. Так, наблюдаются различия в составе и доле сапропелевой составляющей в ОВ, а также в степени катагенетической преобразованности материнских пород. На сегодняшнем уровне изотопные исследования могли бы способствовать определению конкретных путей миграции нефти, что важно для поиска новых ловушек углеводородов.

Большой интерес представляло изучение изотопного состава углерода нефтей протерозоя (Сивинское, Верещагинское и др. площади), которые никак

нельзя связать с ККСВ. Оказалось, что эти нефти являются по изотопному составу аномально легкими, $\delta^{13}\text{C}$ изменяется от -35,2 до -31,1 ‰, тогда как изотопный состав углерода палеозойских нефтей выше (более - 28,5 ‰). В настоящее время это явление уже широко известно и подтверждено результатами изучения протерозойских нефтей Восточной Сибири, Австралии, Омана и других регионов. Однако обнаружение такой изотопно легкой нефти в залежи терригенного девона Чубойского месторождения в Удмуртской республике (Белоконь и др.1996) до сих пор не получило объяснение. Не исключено, что такой факт не единичен для севера Урало-Поволжья. В то же время изотопные исследования ОВ протерозойских материнских пород детально не были проведены. В соответствии с новой концепцией формирования нефтегазоносности, постулирующей, что в недрах превалирует вертикальная миграция нефти, а латеральная миграция ограничивается расстоянием 20 км (Ahlbrandt, 2002), далеко не все выявленные месторождения нефти на севере Урало-Поволжья можно связать с ККСВ. Это значит, что необходимо выявлять новые зоны генерации углеводородов, с которыми могут быть связаны еще не открытые залежи углеводородов. В этом плане проведение изотопно-геохимических исследований является актуальной задачей.

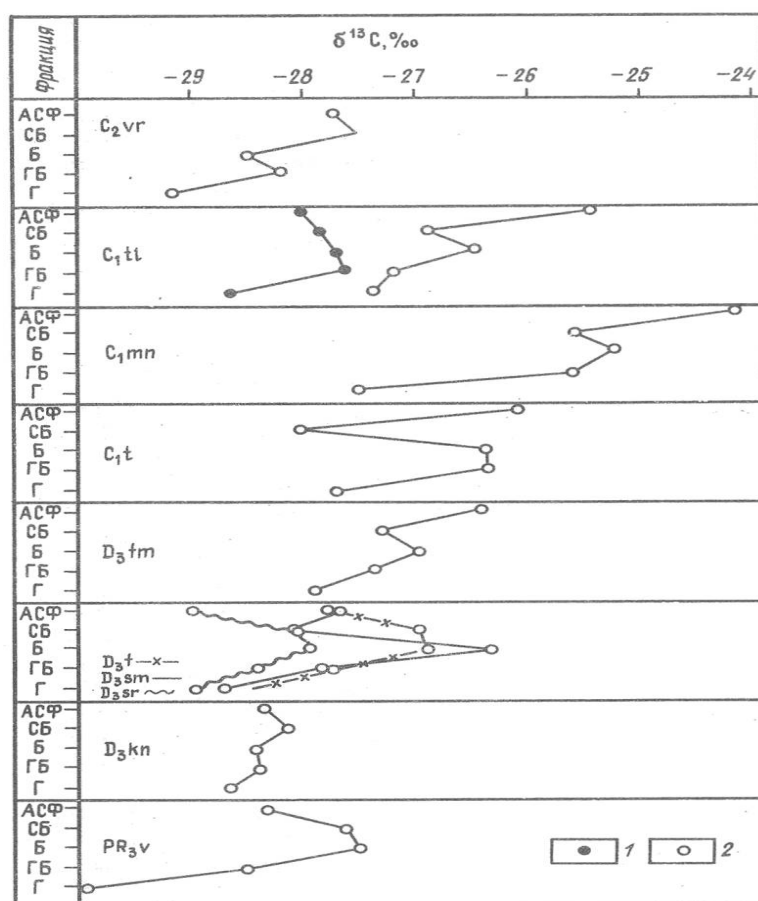


Рис. 1. Изотопно-фракционные кривые нефти (1) и битумоидов пород (2) Дороховского вала. Примечание: фракции: Г – гексановая, ГБ – гексан-бензольная, Б – бензольная, СБ – спирто-бензольная, АСФ – асфальтеновая.

Много вопросов также осталось по изотопному составу углерода попутных газов Пермского края и сопредельных районов. Так, метан верхнедевонско-турнейского комплекса оказался в целом изотопно легче, чем девонского терригенного, если для первого комплекса $\delta^{13}\text{C}$ в среднем равно $-47,7\text{‰}$, то для второго $-51,12\text{‰}$ (Титова, 2016). Кроме того, для девонского терригенного комплекса выявлено бимодальное распределение по пропану: встречается как изотопно легкий, так и изотопно тяжелый пропан. Такие результаты позволяют предполагать присутствие разных источников генерации углеводородных газов. В то же время нефти девонского терригенного комплекса на юге Пермского края обнаруживают сходство с турнейскими нефтями по изотопному составу углерода и биомаркерам (рис. 2), указывающее на единый источник генерации (Кожевникова и др. 2012).

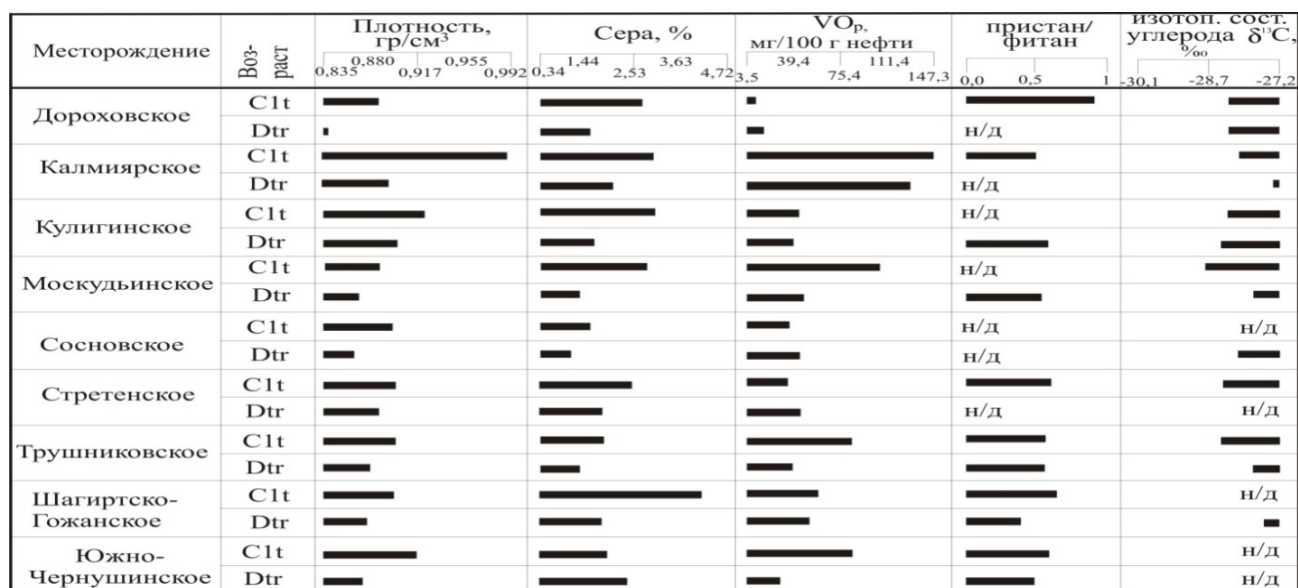


Рис. 2. Сопоставление изотопного состава углерода и распределения биомаркеров в нефтях девонского терригенного и верхнедевонско-турнейского карбонатного комплексов южных районов Пермского края.

Примечание: Dtr – терригенный девон, VOp- ванадилпорфирины, н/д – нет данных.

Таким образом, проведенные в незначительном объеме изотопные исследования ОВ пород, нефтей и газов северных районов Урало-Поволжья поставили много вопросов, связанных с проблемами выделения нефтегазоматеринских пород, путей миграции углеводородов и выявлением региональных и зональных нефтяных систем. Развитие изотопно-геохимических исследований на севере Урало-Поволжья в условиях снижения ресурсной базы углеводородов позволило бы получить новые данные о формировании залежей и способствовать открытию новых месторождений.

Библиографический список

1. Абрикосов И. Х. Нефтегазоносность Пермской области, М., Гостопиздат, 1963, 211 с.
2. Белоконь Т. В., Сиротенко О. И. Балашова М. М. Нефтегазоносность древних толщ востока Русской платформы // Геология нефти и газа. М., 1996, № 7. С. 23–27.
3. Галимов Э. М. Геохимия стабильных изотопов углерода. Недра, М., 1968, 268 с.

4. Галимов Э. М. Изотопы углерода в нефтегазовой геологии. Недра, М., 1973, 384 с.
5. Галимов Э. М., Фрик М. Г. Изотопный метод диагностики нефтематеринских отложений // Геохимия.- 1985.- № 10.- С. 1474–1484.
6. Галимов Э. М., Фрик М. Г., Коблова А. З. Предполагаемые источники нефтей Дороховского вала // Геология нефти и газа. М., 1991, № 1, С. 39–42.
7. Коблова А. З., Фрик М. Г., Белоконов Т. В. Некоторые аспекты биогеохимии нефти северо-восточной части Волго-Уральской области // Геохимия.- 1979,- № 5.- С. 751–761.
8. Кожеевникова Е. Е. Карасева Т. В. Особенности изменения свойств нефтей терригенного девона на севере Башкирского свода и прилегающих территорий // Вестник Пермского университета. Геология. Вып.4 (17). 2012. С. 86–89.
9. Максимов С. П., Калинин М. К., Ботнева Т. А., Молодых Г. Н. Геотермические условия развития цикла нефтегазообразования. Геология нефти и газа, 1975, № 11, С. 7–10.
10. Титова Г. И. Особенности состава попутных газов на севере Урало-Поволжья // Вестник Пермского университета. Геология, вып.3(32),2016, С. 71–75.
11. Ahlbrandt T. S. Assessment of Global Oil, Gas and NGL Resources Based on the Total Petroleum System Concept/. AAPG Foundation, Denver, 2002, p.1–2.
12. Belokon T. V., Chinjenov V. A., Koblova A. Z. Carbon isotope composition and spectral types of free base porphyrins in oils//Geokhimiya, №11, 1979,p.1575–1674.
13. Hoefs J. Stable Isotope Geochemistry. – 6 th edit. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2009. 285 p.
14. Jia W., Wang Q., Peng P., Xiao Z. . Isotopic compositions and biomarker in crude oils from the Tarim Basin: oil maturity and oil mixing // Organic Geochemistry. 2013. V. 57. P. 95–106.
15. Magoon L. B., Dow W.G. The petroleum system - from source to trap//AAPG memoir 60, 2012, 312 p.
16. Peters K. E., Walters C. C., Moldowan J. M. The Biomarker Guide: Biomarkers and isotopes in petroleum systems and Earth History. Cambridge: University Press, 2005. Vol. 2. 1155 p.

¹С.Е. Башкова, ²Т.В. Карасева, ³А.Н. Башков
АО «КамНИИКИГС», ¹sbashkova@mail.ru, ²tvkaras@psu.ru,
ООО «АВК Инвест», ³bashkov41@yandex.ru

О ПЕРСПЕКТИВАХ НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ИЖМА-ПЕЧОРСКОЙ СИНЕКЛИЗЫ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО БУРЕНИЯ

В статье представлены результаты бурения и исследования параметрической скважины Северо-Новоборская 1, пробуренной в северо-западной части Ижма-Печорской синеклизы. Показано, что в Тимано-Печорской провинции северная часть Ижма-Печорской синеклизы, как малоизученная геофизическими методами и бурением, является перспективной территорией, где прогнозные ресурсы углеводородов связываются практически со всеми нефтегазоносными комплексами, выделяемыми в провинции. Кратко рассмотрено тектоническое строение Ерсинской впадины, входящей в перспективную структурную зону северной части Ижма-Печорской синеклизы. Параметрическая скважина Северо-Новоборская 1 пробурена на одном из локальных поднятий Ерсинской впадины. Представлены результаты петрофизических, геохимических и гидрогеологических исследований разреза скважины. Охарактеризованы по керну коллекторские и флюидоупорные свойства пород ордовикских, девонских и каменноугольных отложений, выделены природные резервуары по разрезу скважины. По результатам геохими-

ческих исследований выявлены интервалы развития нефтегазоматеринских пород. Рассмотрены гидрогеологические условия водоносных комплексов в северной части Ижма-Печорской синеклизы.

Ключевые слова: Ижма-Печорская синеклиза, скважина, Ерсинская впадина, керн, коллекторы, флюидоупоры, природные резервуары, нефтематеринская порода, органическое вещество, битумоид, водоносные комплексы.

¹S. E. Bashkova, ²T. V. Karaseva, ³A. N. Bashkov
АО «KamNIIGKS», ¹sbashkova@mail.ru, ²tvkaras@psu.ru,
sООО «AVK Invest», ³bashkov41@yandex.ru

PETROLEUM POTENTIAL PROSPECTS OF THE NORTHWESTERN PART OF THE IZHMA-PECHORA SYNECLISE ON THE RESULTS OF KEY DRILLING

The article presents the results of drilling and study of the stratigraphic well Severo-Novoborskaya 1, drilled in the northwestern part of the Izhma-Pechora syncline. It is shown that in the Timan-Pechora province, the Northern part of the Izhma-Pechora syncline, as poorly studied by geophysical methods and drilling, is a prospective territory where the projected hydrocarbon resources are associated with almost all oil and gas complexes allocated in the province. The tectonic structure of the Ersin depression entering the perspective structural zone of the Northern part of the Izhma-Pechora syncline is briefly considered. Well Severo-Novoborskaya 1 was drilled on one of the local uplifts Erensoy depression. The results of petrophysical, geochemical and hydrogeological studies of the well section are presented. The characterized the reservoir and fluid-dynamic properties of the Ordovician, Devonian and Carboniferous sediments, selected natural reservoirs in the section of the well. According to the results of geochemical studies, the intervals of development of oil and gas source rocks are revealed. Hydrogeological conditions of aquifers in the Northern part of Izhma-Pechora syncline are considered.

Key words: Izhma-Pechora syncline, well, Ersin depression, reservoirs, natural reservoirs, source rock, organic matter, bitumoid, aquifer complexes.

В Тимано-Печорской провинции открыто более 270 месторождений нефти, газа и конденсата, расположенные преимущественно в центральных, южных и восточных районах материковой части (Белонин, 2004, Малютин, 2016). Значительные по площади северные и северо-западные территории остаются малоизученными как геофизическими методами, так и бурением. К таким районам относится Ерсинская впадина площадью 12,31 тыс. км² в северо-западной части Ижма-Печорской синеклизы, где плотность сети сейсмопрофилей не превышает 0,003 пог. км/км², а степень изученности глубоким бурением не более 0,0018 скв./км². Промышленная продуктивность в северной части Ижма-Печорской впадины не установлена, хотя прогнозные ресурсы углеводородов связываются практически со всеми нефтегазоносными комплексами, выделяемыми в Тимано-Печорской провинции (Маргулис, 2008). В Ижма-Печорской синеклизе нефтяные месторождения открыты на юго-востоке в рифогенных известняках сирачойских и доманиковых отложений верхнего девона (Низевое, Южно-Низевое, Макарьельское, Щельяюрское и др.). Потенциально перспективными являются отложения яранского и джьерского горизонтов среднего де-

вона, а также тиман-саргаевского горизонта нижнефранского подъяруса. На Динью-Савиноборском нефтяном месторождении в Ижма-Печорской впадине открытые залежи в джьерских песчаниках приурочены к неантиклинальным ловушкам и связаны с литологическим выклиниванием и тектоническим экранированием пород. В потенциальном ниже-среднеордовикском комплексе промышленных месторождений УВ пока не выявлено, однако установлены прямые признаки нефтеносности в керне в скважинах Сосьянская-1, Низевая-3, Верхневольтминская-15, Восточно-Созьвинская-50.

Завершенные региональные геологоразведочные работы и комплексный анализ материалов по результатам сейсморазведки и бурения скважин, проведенные в последние годы в Ижма-Печорской впадине позволили получить новые представления о тектоническом строении северной части Ижма-Печорской впадины и выделить наиболее перспективную структурную зону, развитую в пределах Нерицкой ступени, Ерсинской впадины и Седухинского вала. Протяженность зоны составляет около 300 км, ширина – до 70 км. Характерной особенностью является ее ступенчато-горстовое строение. По сейсмическим данным в пределах этой зоны выделены крупные высокоамплитудные локальные поднятия. Возможно, перспективными объектами в этой зоне являются органогенные постройки, выявленные в средне-верхнекаменноугольных и доманиково-сирачойских отложениях (Прищепа, 2013).

Ерсинская впадина – обширная структура II порядка, расположена между Нерицкой ступенью на западе, Янгытской ступенью на востоке и Седухинским валом на севере (рис. 1). Для впадины характерно наличие малоамплитудных, локальных поднятий, осложняющих ее борта. Впадина имеет северо-западное простирание и погружается с севера на юг от 2,4 км до 3,6 км. Фундамент Ерсинской впадины разбит разрывными нарушениями, образующими неглубокие (50-100 м), заполненные седиольскими песчаниками, грабены и малоамплитудные горсты. Большинство этих разрывов затухает в породах седиольской и нибельской свит. Некоторые продолжают до джьерских или тиманских отложений и даже выше.

В 2016 году в Ерсинской впадине на одном из локальных поднятий, выявленном по результатам региональных сейсморазведочных работ, пробурена параметрическая скважина Северо-Новоборская 1 глубиной 2500 м, которая позволила уточнить геологическое строение северной части Ижма-Печорской впадины, оценить распространение толщ возможных коллекторов и флюидоупоров, развитие нефтегазоносных комплексов, выявить нефтегазоматеринские толщи.

Скважина на глубине 2445 м вскрыла рифейский фундамент и отложения ордовикского, девонского, каменноугольного, пермского и триасового комплексов. Не подтвердились проектные отложения силура и среднего девона (живетский ярус).

По керновому материалу детально изучены отложения седиольской, нибельской свит ордовика, верхнедевонские (саргаевско-тиманский, ветласяндоманиковый, сирачойский ярусы), каменноугольные отложения.

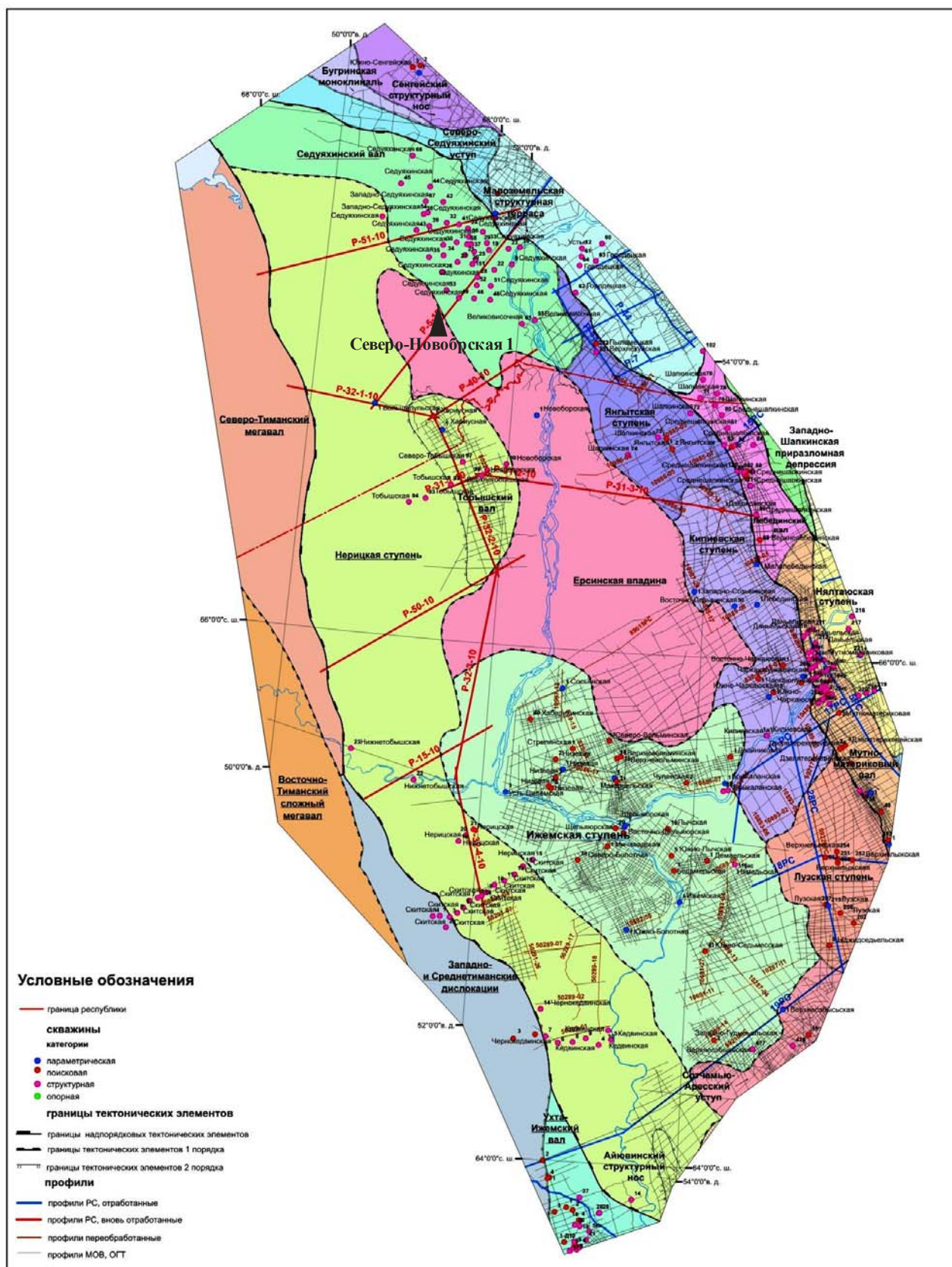


Рис. 1 Тектоническая схема северо-западной части Ижма-Печорской синеклизы

Породы с хорошими коллекторскими свойствами выделяются практически на всех изученных по керну стратиграфических уровнях (Сиротенко, 2008). Высокой пористостью характеризуются терригенные породы карбона и песчаники сирачойского горизонта. Хорошей газопроницаемостью отличаются тер-

ригенные породы доманикового горизонта. В разрезе скважины выделяется семь потенциальных природных резервуаров с суммарной эффективной мощностью до 606 м, образованных средне- и высокеемкими водонасыщенными пластами-коллекторами (>140) преимущественно терригенного, реже карбонатного состава. Наиболее высокими фильтрационно-емкостными параметрами характеризуется доманиково-турнейский потенциальный природный резервуар (инт. 904-1209 м), образованный высокеемкими гранулярными терригенными водонасыщенными породами, в верхней части переходящими в сложные трещинно-каверно-поровые карбонатные коллекторы. Пористость пластов коллекторов в терригенной части разреза достигает > 30 % (по ГИС) и 33,7 % (по керну), газопроницаемость (по керну) – до 7753 мД. Высокие фильтрационно-емкостные свойства пород подтверждаются результатами двух пластоиспытаний. Для потенциальных природных резервуаров выделено 18 возможных флюидоупоров с мощностью от 5 до 247 м, сложенных преимущественно глинами и аргиллитами с прослоями глинистых алевролитов, а также долеритами (Сиротенко, 2016).

В разрезе скважины по геохимическим исследованиям обнаружены в основном миграционные окисленные битумоиды в очень низких концентрациях, часто на уровне фоновых значений. В глинистых породах сирачойского и ветлясян-доманикового горизонта повышенные концентрации Сорг совпадают с повышенными концентрациями битумоидов, в составе которых увеличена доля смол. Битумоид имеет смешанный генезис, часть битумоида является сингенетичной вмещающим породам. В саргаевско-тиманском горизонте содержание Сорг снижается, битумоиды миграционные, легкие, обнаруживаются лишь в следовых концентрациях. В нибельской свите редкие повышенные значения Сорг обусловлены присутствием миграционных окисленных битумоидов в следовых концентрациях. В песчаниках седиольской свиты битумоиды практически отсутствуют. Нефтегазоматеринские породы с «бедным» нефтегенерационным потенциалом выявлены в виде отдельных прослоев только в каменноугольных и девонских комплексах пород. Интервалы присутствия нефтематеринских пород установлены в карбонатной и терригенной толщах франско-фаменских отложений с «бедным» катагенетически незрелым генерационным потенциалом; в терригенных породах сирачойского горизонта, катагенетически преобразованное до стадий МК₁; в терригенной толще ветлясян-доманикового горизонтов, «бедным» в отношении нефтематеринских свойств. Исследование реконструкции ОВ, выполненное для определения условий формирования НГМпотенциала также показало в основном доминирование в разрезе пород с невысокими содержаниями ОВ, влияние на разрез невысоких температур и низкий коэффициент трансформации керогена. По геохимическим данным и результатам моделирования указанные комплексы не вступили в главную зону нефтеобразования.

Для разреза скважины характерны преимущественно низкие и «обычные» концентрации газов, связанные с пониженным содержанием органического вещества в породах. В компонентном составе газов наряду с метаном зафиксированы неопредельные углеводородные газы, которые могут свидетельствовать о наличии процессов генерации, но в ограниченном количестве на определенных уровнях разреза. Зоны микроаккумуляций свободных газов найдены в бо-

лее глубинных породах девонско-ордовикских отложений. Однако существенных скоплений свободных газов, отвечающих зонам макроаккумуляций УВ, не найдено. Газы, полученные при испытании, содержат высокие концентрации азота и гелия, и низкие метана, что может свидетельствовать о скоплении в пластах метаново-азотных газов.

Гидрогеологическими исследованиями установлено, что в целом полученные результаты комплексных исследований по скважине не противоречат ранее установленным гидрогеологическим закономерностям вскрытого разреза Ижма-Печорской впадины (Зытнер, 1989, 2013, Данилевский, 2003). Водоносные комплексы доманиково-нижнекаменноугольных и ордовикских отложений рассматриваются в качестве региональных проводящих систем, которые обеспечивают процессы латеральной миграции флюидов. Минерализация пластовых вод и характерные гидрогеологические коэффициенты данных водоносных комплексов свидетельствует об условиях весьма замедленного водообмена и благоприятных гидрогеологических условиях сохранности залежей углеводородов в северных районах Ижма-Печорской впадины.

Таким образом, бурение и исследование параметрической скважины Северо-Новоборская 1 позволило получить новую информацию о строении, составе и потенциальной нефтегазоносности перспективных комплексов в северной части Ижма-Печорской синеклизы.

Библиографический список:

1. Белонин М. Д., Прищепина О. М., Теплов Е. Л. и др. / Тимано-Печорская провинция: геологическое строение, нефтегазоносность и перспективы освоения. СПб. Недра. 2004. 396 с.
2. Данилевский С. А., Склярова З. П., Трифачев Ю. М. Геофлюидальные системы Тимано-Печорской провинции. Ухта. 2003. 298 с.
3. Зытнер Ю. И. Гидрогеологические критерии прогноза нефтегазоносности северных районов Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции / Зытнер Ю. И., Чибисова В. С. // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2013. Т. 8. № 3. http://www.ngtp.ru/rub/4/35_2013.pdf.
4. Зытнер Ю. И. Гидрогеологическое районирование территории Европейского севера СССР / Зытнер Ю. И., Мигунов Л. В. // Геология и ресурсы горючих полезных ископаемых Европейского севера СССР. Тр. Института геологии Коми НЦ УрО АН СССР. Сыктывкар: Вып. 69., 1989. С. 94–107.
5. Малютин Е. И., Прищепина О. М., Воронович В. Н., Файнберг А. А. / Сырьевая база нефти и газа Северо-Западного ФО и перспективы ее развития // Разведка и охрана недр. 2016. № 9. С. 10–15.
6. Маргулис Е. А. Геологические условия и перспективы нефтегазоносности северной окраины Тимано-Печорской провинции // Эволюция взглядов на геологию и нефтегазоносность Тимано-Печорской провинции. Ухта: ГУП РК ТП НИЦ, 2008. С. 44–49.
7. Прищепина О. М., Богацкий В. И., Григоренко Т. И., Орлова Л. А., Чумакова О. В. / Новые представления о перспективах нефтегазоносности северо-западных районов Тимано-Печорской провинции // Нефтегазовая геология. Теория и практика, 2013. Т. 8. С. 1–36.
8. Сиротенко Л. В. Нетрадиционные коллекторы нефти и газа в Тимано-Печорской провинции (с учетом материалов глубокого опорно-параметрического бурения) // Эволюция взглядов на геологию и нефтегазоносность Тимано-Печорской провинции. Ухта: ГУП РК ТП НИЦ, 2008. С. 33–40.
9. Сиротенко Л. В. Оценочно-генетическая классификация флюидоупоров в глубокопогруженных нефтегазоносных комплексах // Геология и полезные ископаемые Западного Урала. 2016. № 16. С. 116–119.

КОЛИЧЕСТВЕННОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ МЕТАЛЛОПОРФИРИНОВ В ХЛОРОФОРМЕННЫХ БИТУМОИДАХ ПОРОД ПО РАЗРЕЗУ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ СКВАЖИНЫ 2Х

В статье выполнен количественный расчет концентрации и предоставлены результаты определения металлопорфиринов в хлороформенных битумоидах пород по разрезу параметрической скв. 2Х в Прохладненском районе Кабардино-Балкарской Республики. Ключевые слова: металлопорфирины, параметрическая скважина, хлороформенные битумоиды, количественное содержание.

O. V. Naborshchikova
Perm State University, olyanab1990@mail.ru

QUANTITATIVE DETERMINATION OF CONTENT OF METALLOPORPHYRINS THE BITUMENS ROCKS BY SECTION OF THE PARAMETRIC WELL 2X

Abstract: in this article a quantitative calculation of the concentration was performed and the results of the determination of metalloporphyrins in chloroform extracted bitumens of the rocks by the section of parametric well 2X in the Prokhladnensky district of the Kabardino-Balkarian Republic.

Key words: metalloporphyrins, parametric well, chloroform extracted bitumens, quantitative content.

В административном отношении район бурения скважины находится в Прохладненском районе Кабардино-Балкарской Республики.

В региональном тектоническом отношении параметрическая скв. 2Х расположена на северном борту Терско-Каспийского передового прогиба.

Геологический разрез зоны сочленения Терско-Каспийского краевого прогиба с Ногайской ступенью по данным ранее проведенных геологоразведочных работ представлен терригенными отложениями кайнозоя, карбонатными и терригенными отложениями нижнего и верхнего мела и соленосно-карбонатными отложениями верхней юры. Наиболее изученными являются отложения нижнего палеогена, верхнего мела и альба.

Исследование проводилось по образцам горных пород, отобранным из разреза параметрической скв. 2Х. Всего было изучено 20 образцов пород, из которых 7 палеогенового, 6 верхнемелового и 7 нижнемелового возрастов.

Для изучения порфиринов в нефтях и ОВ пород исследуемого района в основном применяют метод электронной спектроскопии. Наиболее широко распространен в настоящее время метод определения концентрации порфиринов в нефтях и ОВ пород по спектрам поглощения в видимой области. Спектр поглощения металлопорфиринов в ближней ультрафиолетовой и видимой области

содержит группу характеристических полос, анализ которых позволяет количественно определить содержание различных типов металлокомплексов. К ним относятся полоса Core (390-410 нм), β -полоса (510 нм для никелевого, 530 нм для ванадилового комплексов), α -полоса (555 ± 5 нм для никелевого и 575 ± 5 нм для ванадилового комплексов).

Расчет концентрации существенно зависит от способа проведения фоновой кривой, поскольку в спектрах порфиринов имеется высокое фоновое поглощение, обусловленное присутствием в растворах окрашенных высокомолекулярных компонентов (Абрютина Н. Н. и др., 1984). В работе Наборщиковой О. В. (2017) показан способ расчета фоновой кривой в области поглощения порфиринов.

В этой статье представлены формулы для расчета концентрации ванадиловых (1) и никелевых (2) комплексов, мг/100 г битумоида, которые имеют следующий вид:

$$C_{Vo}=0,187 \cdot H \cdot V / (A \cdot l) \quad (1)$$

$$C_{Ni}=0,195 \cdot H \cdot V / (A \cdot l) \quad (2)$$

где 0,187 и 0,195 – коэффициенты пересчета, характеризующие поглощение среды; H – высоты максимума α -полосы поглощения соответственно при 575 ± 5 нм для ванадиловых, при 555 ± 5 нм для никелевых порфиринов, см (при условии, что $0,01D \approx 0,1$ см); A – навеска нефти; V – объем, до которого разводят порфириновый экстракт, выделенный из навески A , мл; l – толщина кюветы, см.

По данным формулам (1, 2) был произведен количественный расчет содержания ванадиловых и никелевых металлопорфиринов всех изученных образцов.

В таблице приведены результаты определения металлопорфиринов в хлороформенных битумоидах пород по разрезу параметрической скв. 2Х.

В геохимических исследованиях концентрацию металлопорфиринов выражают обычно в миллиграммах на 100 г битумоида.

В нижнемеловых битумоидах пород концентрация ванадилпорфиринов изменяется в пределах от 6,37 до 42,59 мг/100 г битумоида, а никелевых – 2,35-17,98 мг/100 г битумоида.

В верхнемеловых битумоидах пород содержание ванадиловых комплексов составляет 3,14-69,04 мг/100 г битумоида, никелевых – 2,35-27,22 мг/100 г битумоида.

В палеогеновых битумоидах пород концентрация ванадиловых порфиринов входит в диапазон значений от 2,96 до 21,41 мг/100 г битумоида, а никелевых – 0,9 до 7,63 мг/100 г битумоида.

Таблица. Количественное содержание металлопорфиринов в хлороформенных битумоидах пород по разрезу параметрической скв. 2Х

Глубина, м	Привязка, м	Порода	Возраст	C _{VO} , мг/100 г битумоида	C _{Ni} , мг/100 г битумоида
3140,16	0,16	аргиллит	Баталпашинская свита	21,41	6,40
3160,76	0,76	аргиллит	Баталпашинская свита	13,35	2,37
3186,28	5,28	мергель глинистый с включениями пирита	Хадумская свита	6,24	5,05
3211,40	7,90	мергель	Хадумская свита	9,00	2,69
3219,33	5,78	мергель	Белоглинская свита	12,34	7,63
3270,68	7,78	известняк глинистый	Кумская свита	2,96	3,62
3276,59	13,69	известняк глинистый с включениями пирита	Черкесская свита + нижний палеоген	17,39	0,90
3413,14	3,14	известняк	Маастрихтский ярус	5,92	2,85
3475,44	0,23	известняк глинистый	Маастрихтский ярус	3,14	2,35
3683,65	3,65	известняк с прослоями аргиллита	Кампанский + сантонский ярусы	69,04	27,22
3705,16	2,16	известняк неравномерно глинистый	Кампанский + сантонский ярусы	19,71	8,73
3713,75	10,75	известняк глинистый	Кампанский + сантонский ярусы	11,07	6,86
3744,25	-	известняк	Коньяк+турон+сеноман	13,32	5,46
3856,42	0,42	аргиллит	Альбский	6,37	2,35
3886,73	14,23	аргиллит	Альбский	11,96	5,70
3964,06	21,26	аргиллит	Аптский	29,12	7,26
4001,15	13,35	алевролит	Аптский	10,00	3,38
4189,93	9,93	песчаник	Аптский	42,59	17,98
4429,64	9,64	песчаник	Барремский	8,61	4,31
4797,62	-	известняк	Барремский	15,23	7,64

Таким образом, можно сделать вывод, что повышенное содержание металлопорфиринов наблюдается в верхнемеловых битумоидах пород (C_{VO}=69,04 мг/100 г битумоида, C_{Ni}=27,22 мг/100 г битумоида). По соотношению комплексов в большинстве образцов преобладают ванадиловые порфирины, что соответствует известной тенденции доминирования сапропелевого ОВ в составе НГМП.

Библиографический список:

1. Абрютин Н. Н., Абушаева В. В., Арефьев О. А. и др. Современные методы исследования нефтей (Справочно-методическое пособие) / Н. Н. Абрютин, В. В. Абушаева, О. А. Арефьев и др. Л.; Недра, 1984. С. 266–273.

2. Наборщикова О. В. Определение содержания металлопорфиринов в битумоидах пород методом спектрофотометрии (на примере обнажения «Закопушка») // Геология в развивающемся мире: сб. науч. тр. (по материалам X Междунар. науч.-практ. конф. студ., асп. и молодых ученых): Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2017. Т. 1. С. 263–265.

Е. А. Кузнецова

ПГНИУ, e.lena.kuznetsova@yandex.ru

ГЕОИСТОРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО РАЗРЕЗА СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ ВЕРХНЕПЕЧОРСКОЙ ВПАДИНЫ

Статья посвящена геоисторическому анализу разреза осадочного чехла северной части Верхнепечорской впадины Предуральяского прогиба, который является необходимым условием бассейнового моделирования. В работе восстановлена история погружения осадочного бассейна в районе скважин Мишпарминская-2 и Белая-1, подобраны мощности размытых отложений и рассчитаны скорости осадконакопления. Такое изучение эволюции геологического разреза в геологическом времени имеет важное значение для дальнейшего изучения процессов нефтегазообразования и нефтегазоаккумуляции.

Ключевые слова: геоисторический анализ, бассейновое моделирование, скважина, погружение, осадконакопление.

E. A. Kuznetsova

Perm State University, e.lena.kuznetsova@yandex.ru

GEOHISTORICAL ANALYSIS OF THE GEOLOGICAL SECTION OF THE NORTHERN PART VERKHNEPECHORSKY DEPRESSION

The article is devoted to the geohistorical analysis of the sedimentary cover of the Northern part of the Verkhnepechorsky depression of the Pre-Urals foreland basin, which is a necessary condition for basin modeling. In the work of the restored the story of subsidence of the sedimentary basin in the area of wells Mishparminskaya-2 and Belaya-1, matched size of denudation sediments and calculated the speed of sedimentation. The study of the evolution of the geological section in geological time is important for the further study of the processes of oil and gas generation and accumulation.

Key words: geohistorical analysis, basin modeling, well, subsidence, sedimentation.

На сегодняшний день важнейшими полезными ископаемыми для человека являются нефть и газ. В последнее время наблюдается недостаточный прирост запасов углеводородов, но значительные ресурсы могут быть открыты даже в старых нефтедобывающих районах. Одним из перспективных объектов для поисков углеводородов являются юго-восточные районы Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции, например, Верхнепечорская впадина Предуралья-

ского прогиба. Верхняя часть осадочного чехла сравнительно хорошо изучена, газовые и газоконденсатные месторождения здесь были открыты в 60-х гг. прошлого века, поэтому интересен прогноз нефтегазоносности глубокозалегающих отложений.

К глубоким горизонтам принято относить отложения, залегающие ниже глубины 4,5–5 км, а в пределах рассматриваемой территории мощность осадочного чехла достигает 11 км и более. Нефтегазоносность больших глубин изучена недостаточно и очень неравномерно. Освоение глубоких недр связано с большими технологическими трудностями и высокими финансовыми затратами, поэтому возникает необходимость уменьшения геологических рисков. Практически незаменимым инструментом при изучении таких геологических объектов может быть бассейновое моделирование. Его необходимым условием является количественный геоисторический анализ, который является необходимым и перспективным направлением в геологических исследованиях, так как приближает геологию к разряду точных наук (Никишин и др., 1999).

Метод одномерного геоисторического анализа был применен для анализа истории развития Верхнепечорской впадины, в пределах которой более 13 скважин (Беляева и др., 2012) вскрыли глубокопогруженные отложения.

Исходными данными при проведении одномерного геоисторического анализа служат описания современного геологического разреза по данным бурения скважин, это мощности слоев, глубины их залегания и литологический состав. При этом необходимо восстановить последовательность слоев, выделить перемены и несогласия, присутствующие в разрезе. Также для работы необходимы абсолютные датировки геологических границ.

Важным аспектом геоисторического анализа и бассейнового моделирования является восстановление истории погружения осадочного бассейна, прежде всего построение одноименных графиков. Начиная с тридцатых годов прошлого века применялось построение эпейрогенических кривых. Массовому использованию метода препятствовало отсутствие абсолютной геохронологической шкалы и значительная трудоемкость процедуры построения. Развитие микропалеонтологии и техники абсолютных датировок стратиграфических подразделений позволило перейти от качественных геоисторических диаграмм к количественным графикам истории погружения бассейна. Бурное развитие компьютерных технологий позволило автоматизировать эту процедуру и, кроме того, ввести поправку на уплотнение пород с глубиной. Этот метод стал необходимым шагом бассейнового моделирования. Все эти техники можно объединить под общим названием «кинематический анализ осадочного бассейна», подразумевая под этим восстановление истории погружения бассейна и накопления там осадочных толщ на основании его современной структуры (геометрии) и стратиграфии чисто геометрическим (кинематическим) путем.

В образовании осадочного геологического разреза участвуют три основных фактора: 1) тектонические движения земной коры, приводящие к образованию рельефа, определяющего процессы эрозии и седиментации; 2) эвстатические колебания уровня моря, служащего необходимым агентом в этих процессах; 3) процессы размыва и переноса обломочного материала, образования био- и хемогенных отложений.

В качестве основы при расшифровке «осадочной летописи» можно принять следующую модель образования осадочной записи: погружение и эвстатические колебания уровня моря создают пространство, которое в дальнейшем может быть заполнено осадками (accomodation space), его заполнение определяется процессами осадконакопления, которые в свою очередь зависят от поступления осадочного материала.

Для расшифровки осадочной летописи в первую очередь следует разделить три вышеуказанных фактора, причем чисто кинематически. Очень часто первый фактор значительно превосходит два других, поэтому последние можно рассматривать как «поправки» к истории погружения, восстановленной исходя из учета только главного фактора. Кроме того, во многих случаях осадконакопление является скомпенсированным, т.е. осадки заполняют аккомодационное пространство сразу, как только оно образуется. В этом случае можно пренебречь третьим фактором.

Помещая геологическую летопись региона в рамки линейной временной шкалы, получаем возможность измерять относительную значимость событий, сравнивая не только амплитуды, но и скорости погружения, а также использовать полученные данные как для графического представления, так и для численного моделирования геологических процессов.

Основной принцип восстановления истории погружения достаточно прост: снимая последовательно слой за слоем, приводим разрез к виду, существовавшему в прошлом. При этом необходимо учитывать три следующих основных фактора:

1. Геологический разрез описывается как последовательность слоев, а история погружения как последовательность этапов развития. Для осуществления возможности перехода от одного описания к другому необходимо перевести данные исходного геологического разреза с языка «слоев» на язык «этапов развития», т. е. установить датировки границ, выделить перерывы в осадконакоплении и этапы эрозии, оценить величину эрозии. При интерпретации перерывов и несогласий важно определить: 1) какой процесс имел место в это время: перерыв в осадконакоплении или эрозия; 2) соответствующий интервал времени; 3) если происходила эрозия – оценить величину эрозии.

2. Положение верхней границы разреза в любой момент прошлого может быть восстановлено на основании данных по эвстатическим колебаниям уровня Мирового океана и палеоглубинам бассейна. Традиционно, одной из основных трудностей было определение палеоглубин моря. Глубина бассейна оценивается по сумме геологических и палеонтологических данных.

3. Породы при погружении уплотняются под нагрузкой вышележащих слоев. Хорошо известно, что породы в процессе захоронения уплотняются под воздействием литостатического давления; при этом их объем сокращается за счет уменьшения объема пор. Степень уплотнения определяется многими факторами. Однако можно использовать закономерности уменьшения пористости с глубиной для разных типов пород, определяемые статистически на основании большого количества измерений по скважинным данным. Для того, чтобы ввести поправку на уплотнение породы при погружении, необходимо задать литологию. В результате получается так называемая эпейрогеническая кривая, но только с учетом уплотнения пород и эрозии (Никишин и др., 1999).

Численно реконструировать эволюцию геологического разреза позволяют программные комплексы бассейнового моделирования. В настоящее время существует значительное число программ бассейнового моделирования, среди которых наиболее известны PetroMod, Temis, Genex, Trinity и Basin2 и другие, в данной работе использованы результаты моделирования Genex (Beicip, IFP) и PetroMod (Schlumberger).

В данной работе рассмотрены модели погружения, полученные в результате одномерного бассейнового моделирования двух скважин севера Верхнепечорской впадины, вскрывших глубокопогруженные отложения, разрез которых не был нарушен разрывными нарушениями: Мишпарминская-2 (Вуктыльская тектоническая пластина) и Белая-1 (север Печоро-Илычской моноклинали) (рис. 1). Мощности размытых отложений были подобраны при калибровке 1D моделей по значениям отражательной способности витринита. Соотношения, описывающие уплотнение пород с глубиной заданы с помощью подробного описания литологического состава слоя.

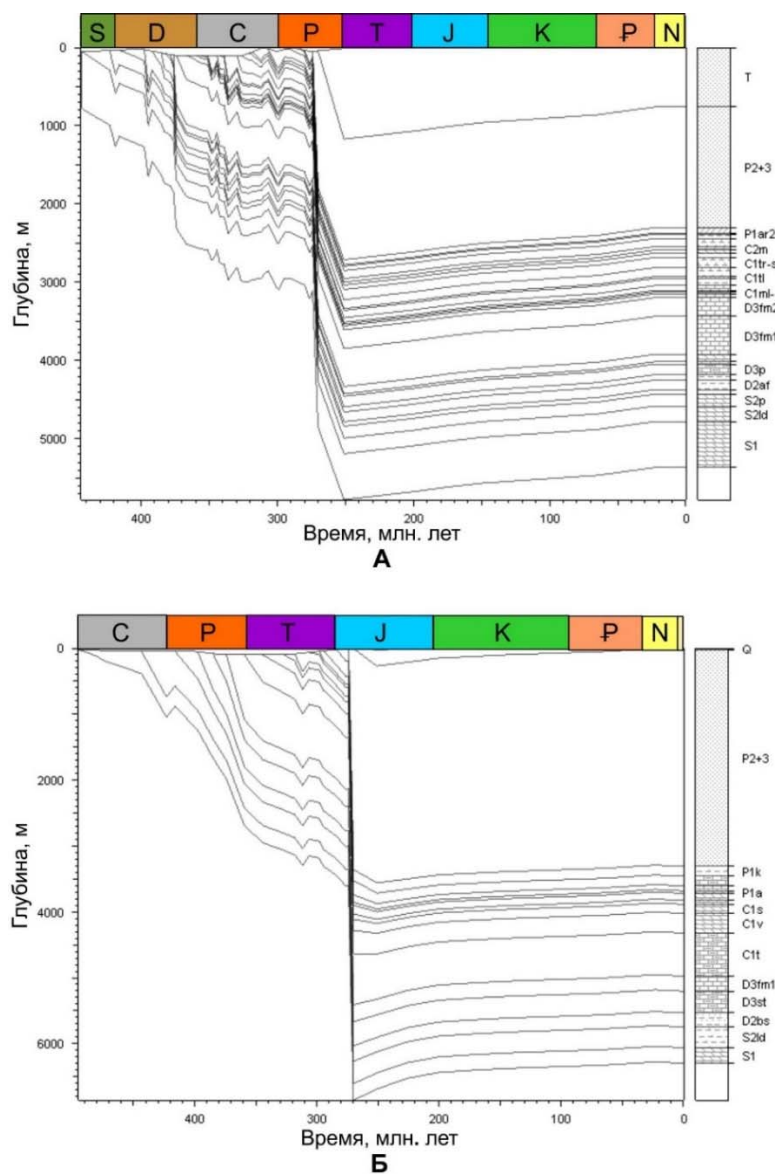


Рис. 1. Модели погружения: А – скв. Белая-1, Б – скв. Мишпарминская-2

Известно, что современная структура осадочного чехла рассматриваемой территории сформировалась в результате стадийного тектонического развития на протяжении рифея – фанерозоя, при этом на графиках видно, что значительная скорость погружения наблюдалась с силурийского по пермский периоды палеозойской эры, что согласуется с эволюцией смежной Уральской складчатой области. Формирование района Верхнепечорской впадины и наиболее крупных погребенных поднятий происходило очень активно, как в течение до-орогеного предпермского этапа складчатости, так и в орогенезе, когда формирование Уральской складчатой области привело к широкому развитию надвигов (Беляева и др., 2012).

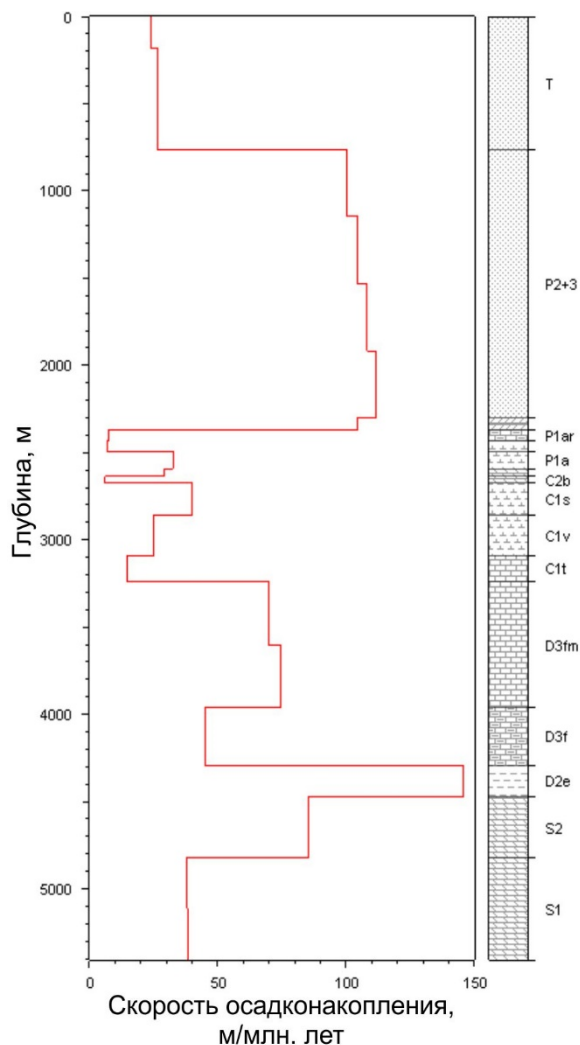


Рис. 2. Скорости осадконакопления в районе скв. Белая-1

На построенных моделях видно, что Уральская подвижная область приводила к погружению смежную с ней Верхнепечорскую впадину течение в силурийско-раннедевонского, позднедевонско-среднекаменноугольного и пермско-триасового этапов. В среднедевонскую и позднекаменноугольную эпохи, а также в конце пермского периода территория испытывала инверсию и значительные восходящие движения, масштабы которых (величину эрозии) позволяет оценить калибровка одномерных моделей в программах бассейнового моделирования по современным замеренным значениям отражательной способности витринита.

Важное значение для геоисторического анализа имеет определение палеоглубин осадочного бассейна (рис. 1). В силурийском – в начале девонского периодов на севере Верхнепечорской впадины преобладали мелководно- и прибрежно-морские условия осадконакопления. В лохковском веке они сменяются на лагунные, а затем – на континентальные. В начале среднедевонской эпохи снова установились мелководно- и прибрежно-морские условия, наконец, с позднедевонского времени и до конца артинского века господствовали морские фации. В кунгурском веке они сменились лагунными, а затем с позднепермской эпохи – континентальными. Начиная с юрского времени территория характеризуется отсутствием осадконакопления.

На рис. 2 представлена еще одна важная характеристика эволюции геологического разреза – скорости осадконакопления, полученные в результате одномерного бассейнового моделирования. Они изменялись от 6 м/млн. лет в башкирском веке и до 70-80 м/млн. лет в фаменском веке. В среднедевонскую эпоху, а также в биармийское и татарское время скорости накопления осадков достигают 100 и более м/млн. лет.

Изучение эволюции геологического разреза в геологическом времени является необходимой частью бассейнового моделирования и имеет важное значение для дальнейшего изучения процессов нефтегазообразования и нефтегазонакопления.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-35-00220.

Библиографический список:

1. *Беляева Г. Л., Карасева Т. В., Кузнецова Е. А.* Геологическое строение и нефтегазоносность глубокопогруженных отложений Тимано-Печорской НГП // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2012. № 7. С. 33–40.
2. *Галкин В. И., Козлова И. А.* Влияние историко-генетических факторов на нефтегазоносность // Вестник Пермского университета. Геология. 2000. Вып. 4. С. 8–18.
3. *Дьяконов А. И., Овчарова Т. А., Шелемей С. В.* Оценка газонефтяного потенциала автохтонов и аллохтонов Предуральяского краевого прогиба на эволюционно-генетической основе. Ухта: УГТУ, 2008. 76 с.
4. *Геоисторический и геодинамический анализ осадочных бассейнов / А. М. Никишин (и др.); гл. ред. Н. В. Межеловский.* М.: МПР РФ, ЦРГЦ, Геоткарт, МГУ, 1999. 524 с.
5. *Кузнецова Е. А.* Геология и нефтегазоносность глубокопогруженных отложений севера Верхнепечорской депрессии по результатам одномерного бассейнового моделирования скважины Белая-1 // Проблемы разработки месторождений углеводородных и рудных полезных ископаемых. Пермь: ПНИПУ, 2018. С. 55–58.
6. *Пестерева С. А., Попов С. Г., Белоконь А. В.* Историко-геологическое моделирование эволюции осадочного чехла в районах развития глубокопогруженных отложений Тимано-Печорского нефтегазоносного бассейна // Вестник Пермского университета. Геология. 2011. Вып. 2. С. 8–19.

А. В. Кузин

УГГУ, Екатеринбург, kuzin-av@mail.ru

ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ СТАРОУТКИНСКА ПО ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИМ ДАННЫМ

Электроразведочными методами исследована мощность аллювиальных отложений на правобережье р. Чусовая в Староуткинске. Определено распространение глинистого аллювия р. Чусовая, песчано-галечникового аллювия р. Дарья, известняков и песчаников девонского и карбонового возрастов, эрозионные депрессии на поверхности скальных. По гидрологическим и геологическим данным определена причина формирования мощной толщи песчано-галечниковых отложений р. Дарья и небольшой мощности пойменного аллювия р. Чусовая. Проведена сравнительная оценка несущей способности глинистого и песчано-галечникового аллювия.

Ключевые слова: геоморфология, аллювиальные отложения, гидрология, электроразведка

A. V. Kuzin

UGGU, Ekaterinburg, kuzin-av@mail.ru

GEOMORPHOLOGICAL SCHEME OF THE EASTERN PART OF STAROUTKINSK ON GEOLOGICAL AND GEOPHYSICAL DATA

Using electrical survey methods, the thickness of alluvial deposits on the right bank of the r. Chusovaya in Staroutkinsk. The distribution of clayey alluvium was determined. Chusovaya, sand and pebble alluvium p. Daria, limestones and sandstones of the Devonian and Carboniferous ages, erosional depression on the rocky surface. According to hydrological and geological data, the reason for the formation of a thick strata of sand and pebble sediments of the r. Daria and a small power floodplain alluvium p. Chusovaya. A comparative assessment of the carrying capacity of clay and sand and pebble alluvium is carried out.

Key words: geomorphology, alluvial deposits, hydrology, electrical exploration

В августе 2018 г автор выполнил геофизические исследования для проектирования трасс газопроводов по улицам восточной части Староуткинска, на правобережной части р. Чусовая. Целью исследования было определение мощности рыхлых отложений, выходов к поверхности скальных пород, оценка закарстованности известняков. Решение этих задач предполагало определение генезиса и распространения рыхлых грунтов на различных участках правобережья, определение степени физического выветривания толщи известняков. В итоге обработки геофизических исследований, данных буровых скважин, анализа рельефа дневной поверхности, привлечения опубликованных материалов по геологии региона графическое представление полученных материалов обрело вид геоморфологической схемы (рис.1), которая может быть интересной специалистам по инженерной геологии, гидрогеологии, гидрологии.

Геоморфологическая схема включает три крупных элемента: массив известняков и песчаников в северной части участка, аллювиальные глинистые осадки р. Чусовой в центральной части, песчано-галечниковый аллювий правого притока Дарья в юго-восточной части.

По данным Государственной геологической карты листа О-40-XXX (Геологическая, 1967), в северной части посёлка в субвертикальном положении залегают три толщи кристаллических осадочных пород. В самой восточной части – окремненные известняки фаменского яруса верхнего девона (мощность около 300 м), с запада к ним примыкают кварцевые песчаники вишневого, бурого цветов визейского яруса раннего карбона (100 м), западнее – серые органогенные известняки визе-намюра (более 300 м). На геоморфологической схеме (рис. 1) контакты этих толщ не указаны, так как при полевых исследованиях такая задача не была поставлена, но по графикам кажущегося сопротивления, снятым на улицах восточной части участка, видно, что геологическая толща известняков и песчаников весьма неоднородна. В связи с толщиной известняков важно отметить, что они незакарстованные: нет видимых и скрытых признаков карста, по опросам местных жителей явлений карста на исследуемой части правобережья не наблюдалось.

На топографической карте с изолиниями отметок рельефа от высоты порядка 255 м до 285 м можно выделить линейные участки логообразного понижения рельефа на 0,5-2 м, шириной в 20-30 м. Ориентировка их субмеридиональная, совпадающая с простиранием пластов известняков и песчаников. Это линейные эрозионные склоновые депрессии, заложившиеся на известняках пониженной прочности. Отметим, что депрессии прослеживаются и под покровом делювиальных и аллювиальных суглинков на отметках рельефа ниже 261 м.

На этих же повышенных участках местности по изолиниям рельефа выделены грядообразные участки относительного повышения рельефа. В районе ПК 50 на ул. Дарьинская относительное превышение достигает 3-4 м. Такие формы рельефа можно объяснить наличием в толще скальных более прочных к физическому выветриванию пластов. В частности, на ул. Дарьинская залегают светлые окремненные известняки, в которых была каменоломня.

Завершая описание первого геоморфологического элемента, отметим, что в западной части участка известняки выходят на дневную поверхность, а в восточной, по данным бурения скважин, – перекрыты слоем делювиальных суглинков мощностью до 2 м.

На графиках кажущегося электрического сопротивления (УЭС), полученных установкой дипольного электропрофилирования (ДЭП, величина приемного и питающего диполей – 20 м, расстояние между центрами диполей – 40 м, что обеспечивает оценку кажущегося УЭС на глубине порядка 8-12 м), видно (рис. 2), что на профилях вдоль ул. Дарьинская и Пролетарская на интервале пикетов 10-50 (на расстоянии 800 м) кажущееся УЭС изменяется в диапазоне 20-80 Ом.м. Эти значения характеризуют распространенные здесь аллювиальные бурые суглинки с редкими галлями кварца – отложения террасы реки Чусовой. Подошва их, по данным интерпретации кривых ВЭЗ №№ 4 и 5, залегает на глубинах 4,6-7,4 м (абс. отметки порядка 249–246 м). Перекрыты они слоем де-

лювиальных светло-коричневых суглинков мощностью 1,7 м. Если принять мощность рыхлых в русле Чусовой порядка 3 м (по ВЭЗ № 6), то цоколь аллювиальных отложений располагается здесь на отметке порядка 245 м. Таким образом, мощность нерасчлененных террасовых отложений Чусовой в районе Староуткинска может составлять 12–16 м.

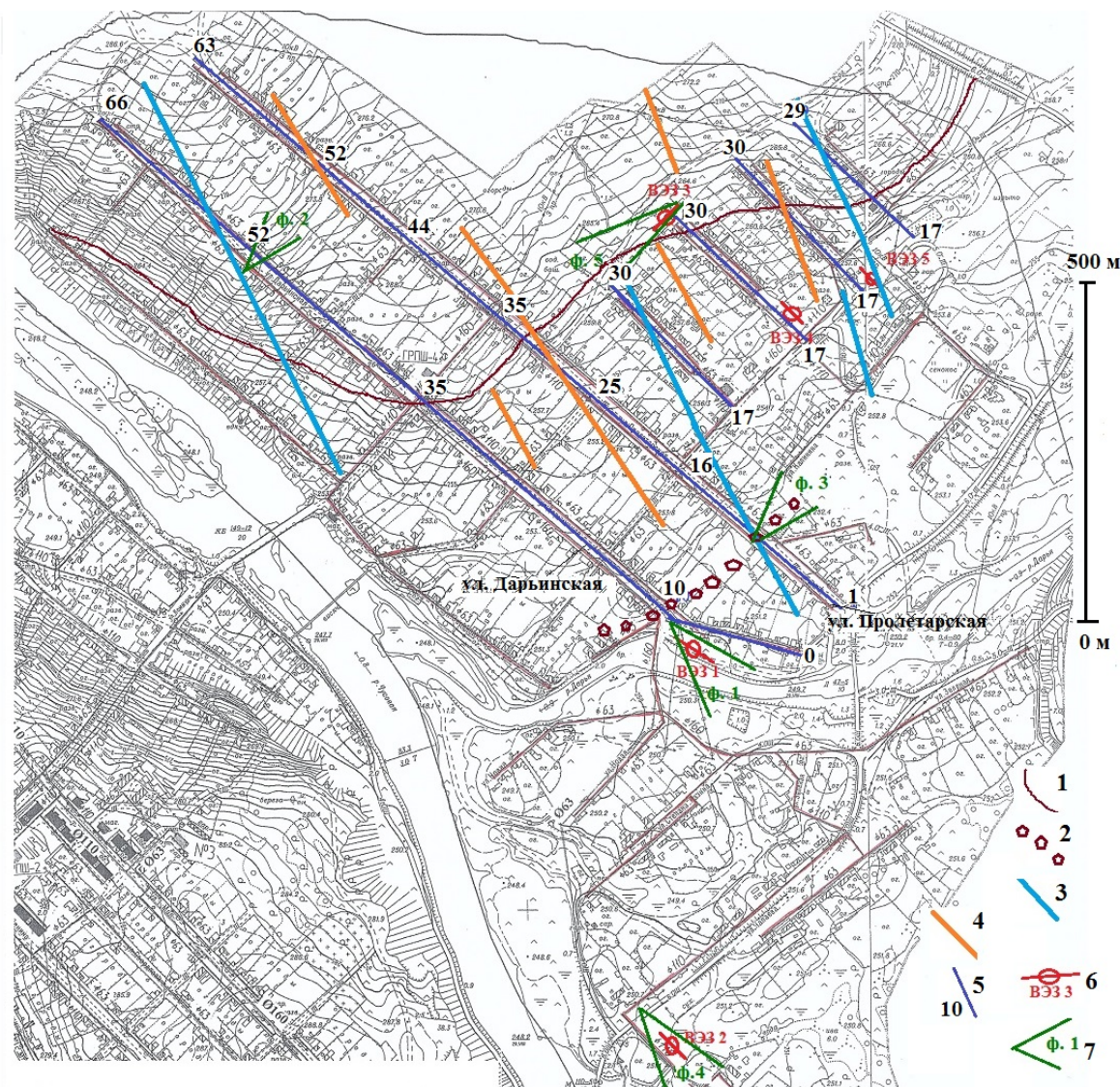


Рис. 1. Геоморфологическая схема правобережья р. Чусовой в Староуткинске: 1 – северная граница отложений первой надпойменной террасы р. Чусовой, 2 – северная граница галечниковых отложений р. Дарья, 3 – оси выхода слоёв прочных к физическому выветриванию известняков, 4 – оси выхода известняков пониженной прочности, 5 – профили ДЭП, номера пикетов, 6 – точки ВЭЗ, 7 – фото, его номер

В южной части профилей, до ПК 10, залегают породы с УЭС 120-200 Ом.м. Это песчано-галечниковый аллювий палеорусли реки Дарья. Северная граница галечникового аллювия р. Дарья указана на геоморфологической схеме, а южная располагается примерно в 1 км южнее – предположительно между точками ВЭЗ №№ 2 и 6 (последняя располагается в 500 м южнее точки 2). По данным ВЭЗ № 2, в интервале глубин 2,6–9,2 м залегают высокоомные (408 Ом.м) галечники. По ВЭЗ № 6 установлен двухслойный разрез: до глубины 2,8 м – низ-

коомные (44 Ом.м) аллювиальные суглинки, а под ними – известняки коренного ложа р. Чусовой с УЭС 519 Ом.м.

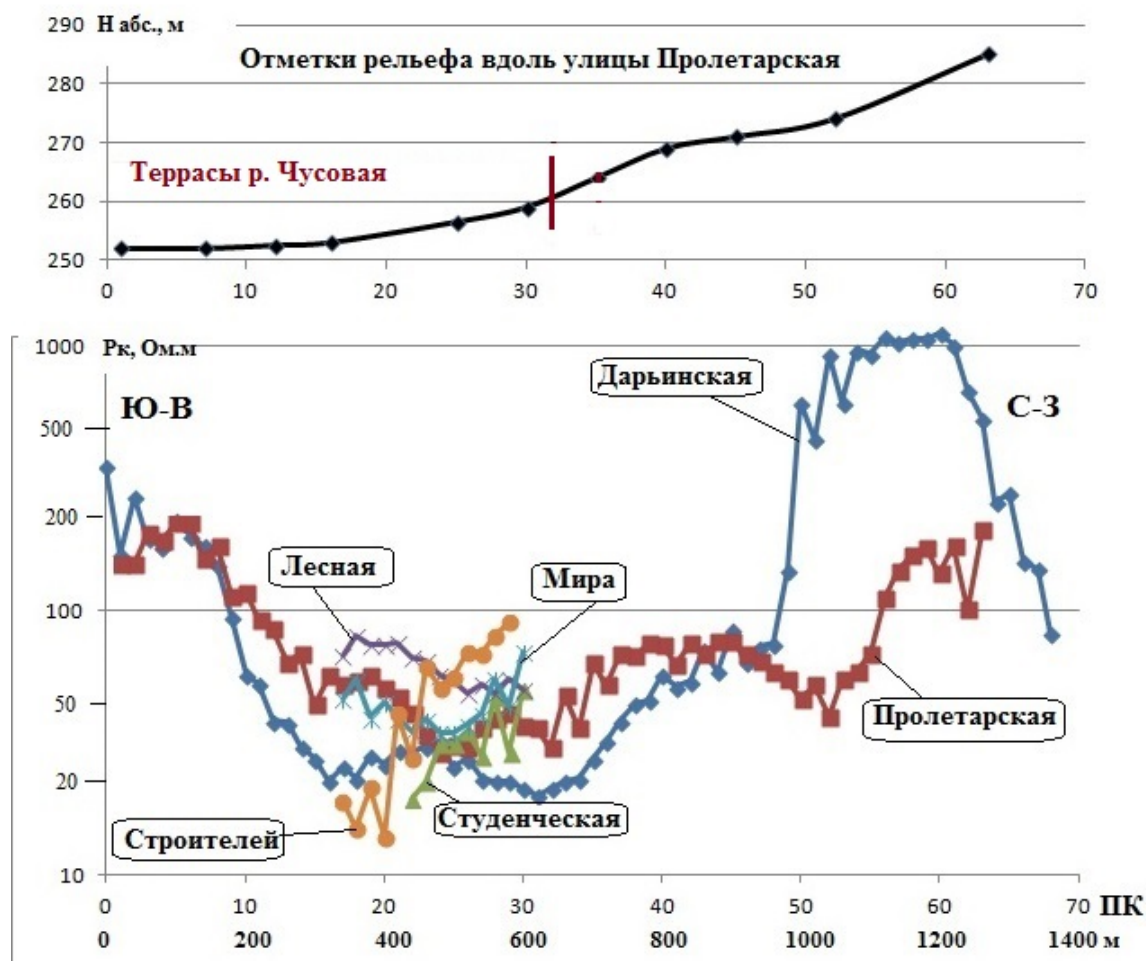


Рис. 2. Отметки рельефа вдоль ул. Пролетарской и графики кажущегося удельного электрического сопротивления метода ДЭП

Чтобы уяснить существенное различие глубины устьевой части древней долины р. Дарья и собственно р. Чусовой, обратимся к анализу продольного профиля этих рек (рис. 3). Река Чусовая на отрезке от Староуткинска до Билимбая имеет небольшой средний уклон 0,25 м/км. Потому долина ее имеет небольшую глубину. Река Дарья при общей длине ее 57 км имеет вогнутый профиль, на последнем 16-километровом отрезке, перед впадением в Чусовую, имеет уклон 2,72 м/км. Потому в эпоху своего полноводья она выработала долину шириной около одного километра, глубиной 9-14 м, заполнила ее песчано-галечниковым аллювием, который наблюдается в современном русле и береговых уступах. На ул. Дарьинская, в районе ПК 5, водозаборная скважина установлена на глубине 14 м в галечниках (по свидетельству местного жителя).

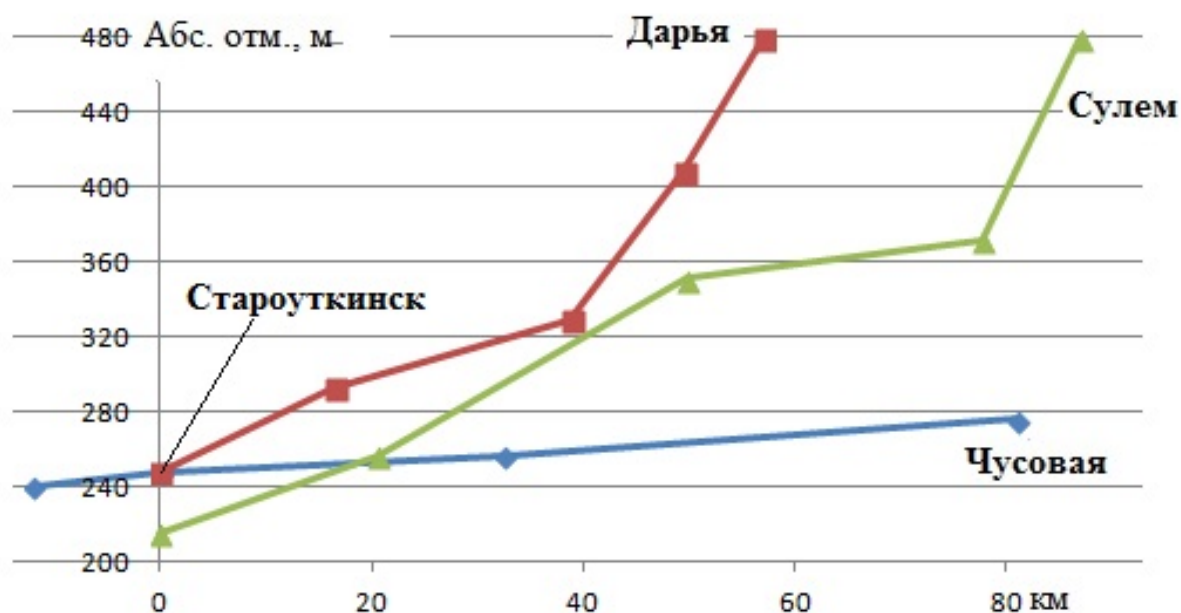


Рис. 3. Продольные профили рек

Для сравнения на рис. 3 показан продольный профиль р. Сулем, правого притока Чусовой, впадающего в нее в 37 км ниже по течению. Истоки Сулема и Дарьи находятся на западном склоне Уральского хребта, в 5 км друг от друга. Сулем имеет длину 87 км. Прямолинейные участки русел обеих рек подчиняются направлению тектонических разломов субширотной и субмеридиональной ориентировок (Апродов, 1948). Уклон р. Сулем на последнем 20-километровом отрезке составляет 2,05 м/км. Однако в устьевой части речная долина его имеет ширину 200–300 м, глубину вреза – всего 3–4 м (Кузин, 2017), что гораздо меньше, чем у р. Дарья. Наверное, потому, что воды Сулема эродируют прочные кварцевые песчаники такатинской свиты, а воды Дарьи – известняки.

При полевых исследованиях мы обратили внимание на дом № 10 по ул. Пролетарская (рис. 4): южная часть строения осела в грунт на один метр. При анализе графиков кажущегося электрического сопротивления метода ДЭП видно, что под домом проходит контакт между галечниковым высокоомным аллювием р. Дарья и глинистым низкоомным аллювием р. Чусовая. К тому же по изолиниям рельефа видно, что палеодолина р. Дарья характеризуется относительно ровным рельефом, а отложения р. Чусовая формируют один из террасовых склонов субширотного простирания. Нами в декабре 2018 г проведено обследование указанного дома и установлено, что опорные столбы надворных построек и верей ворот занимают в грунте первоначальное положение, то есть, их не выдавило, а фундамент под срубом дома задавлен на глубину более метра. Очевидно, что так податливо по отношению к статической нагрузке повел себя песчано-галечниковый грунт. Следует учесть тот факт, что его сплошность была нарушена при строительстве дома подпольной выемкой. По свидетельству местного жителя, в подполье дома всегда стояла вода. Глубина до зеркала грунтовой воды к югу от дома не превышает полуметра. В доме напротив обследоуе-

мого есть колодец глубиной 4 м, вскрывший галечник. Это подтверждение распространения в исследуемой части правобережья галечниковых отложений р. Дарья. Вышеописанное в данном абзаце мы приводим как лепту в сложное дело изучения несущей способности песчано-галечниковых отложений. В справочной литературе их сопротивление к одноосному сжатию указывается равным или большим, чем, например, у плотных глин, песков (Тер-Мартirosян, 2005). Впрочем, отмечается, что определение физико-механических характеристик песчано-галечниковых грунтов из-за их неоднородности затруднительно для лабораторных исследований, а объём полевых определений мал.



Рис. 4. Осадка части дома № 10 по ул. Дарьинская (на геоморфологической схеме – область фото № 3), расположенного на контакте аллювиальных суглинков р. Чусовая (верх, север) и песчано-галечниковых отложений р. Дарья

Таким образом, проведение геолого-геофизических изысканий на правобережной части р. Чусовая в Староуткинске позволило установить распространение скальных известняков и песчаников, глинистых аллювиальных отложений террасы Чусовой, песчано-галечниковых устьевых отложений ее правого притока – реки Дарья.

Библиографический список:

1. Геологическая карта Урала. Лист О-40-XXX. Гл. ред. И. Д. Соболев, 1967.
2. Апродов В. А. О речной сети в средней части западного склона Урала и Приуралья / Материалы по геоморфологии Урала. Вып. 1. Под ред. Я. С. Эдельштейна и И. П. Герасимова. Госгеолтоптехиздат. М.-Л., 1948. С. 219–224.
3. Кузин А. В., Зырянова А. В. Геофизические исследования палеодолины реки Сулем. // Геология и полезные ископаемые Западного Урала: сборник статей по матер. Всеросс. научно-практ. конференции. Пермский гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2017. С. 163–166.
4. Тер-Мартirosян З.Г. Механика грунтов. М.: Изд-во АСВ, 2005.

К ВОПРОСУ ОБ ЭЛЛИПТИЧНОСТИ ИЗОЛИНИЙ В МЗТ

В данной статье отражены моменты решения задачи о нормальном поле в эмпирическом выражении на основании материалов по Западному рудопроявлению и делается вывод о решении задачи нормального поля в два этапа: - исключение анизотропии в наблюдаемом поле и решении задачи о поляризации среды.

Ключевые слова: геофизические исследования, стандартный метод заряда с измерением электрической составляющей, медноколчеданные месторождения, эллиптичность изолиний

Iu. B. Pyzhianov

UGGU, URGEU, UGLTU, Ekaterinburg, pyzhianov17@gmail.com

TO THE QUESTION ABOUT ISLINES ELLIPTICITY IN MZT

This article reflects the moments of solving the problem of the normal field in empirical expression based on the materials on the Western Ore occurrence and concludes that the problem of the normal field is solved in two stages: - elimination of anisotropy in the observed field and solving the problem of polarization of the medium.

Key words: geophysical surveys, standard method for measuring electrical energy, copper-sulphide deposits, ellipticity of isolines

Метод заряда известен в двух модификациях – метод заряда с использованием одноэлектродной питающей установки и изучением электрического потенциала (МЗ) и метод заряда с использованием преимущественно двухэлектродной питающей установки и изучением составляющих вектора магнитной индукции (МЗМП). Метод заряда впервые был предложен профессором К. Шлюмберже (1932). (Родионов, 1959)

На Урале первые полевые работы методом заряда проведены в 1933 г. партией Московского научно-исследовательского нефтяного института под руководством Л.А. Добровольского. В этом же году полевые исследования были продолжены Родионовым П.Ф. на ряде уральских месторождений при участии В.М. Мерных и В.Г. Комина. Успешные результаты работ 1933 г. обусловили широкое внедрение метода заряда. Позднее метод заряда начал применяться на сульфидных месторождениях Карелии и Кольского полуострова, на медных месторождениях Закавказья, на полиметаллических месторождениях Алтая. В деле развития метода заряда большое значение имели работы А. С. Семёнова (1947, 1947, 1948, 1953 гг.), И. К. Овчинникова (1937), И. С. Гельфанда (1950, 1950), Н.В. Липской (1949), М. В. Семёнова, В. М. Сапожникова, М. М. Авдевича, Ю. В. Голикова (1984).

Вторая методика вошла в практику геофизических работ благодаря исследованиям Б. В. Рогачева, Э. С. Седельникова (1959, 1969 гг.) и М. Н. Егорова (1966г.). Современный этап ее развития начался в 1967-1968гг.

после опубликования результатов исследований М. Н. Егорова (1967 г.), Л. Б. Гасаненко и Е. А. Маркиной (1968 г.), которые указали, что вертикальный кабель и электрический диполь не создают первичного магнитного поля на поверхности горизонтально-слоистого полупространства, что облегчает выделение аномального эффекта локальных проводников.

В методе заряда с измерением электрической составляющей авторами (Сапожников В. М., 1977, Семенов М. В., 1977) ставится вопрос о выделении нормального поля в наблюдаемом поле, о выделении в нормальном поле ближней и дальней зон. И соответственно отсюда разные предлагаемые алгоритмы решения этих задач. В связи с этим возникла задача создания программы расчета нормального поля в методе заряда, основанная на эмпирических формулах и подкреплённая экспериментальным материалом. (Пыжьянов, 2018)

Для обеспечения возможности широкого использования сведений о решении этой задачи, был привлечен экспериментальный полевой материал, выполненный автором с сотрудниками ряда экспедиций Урала (Уральская геофизическая экспедиция, ОАО УГСЭ г. Екатеринбург, Среднеуральская геологоразведочная экспедиция, Уральская геофизическая экспедиция, г. Верхняя Пышма) и института геофизики УФАН. Для оперативного использования громадного полевого материала, полученного на ряде медноколчеданных месторождений Урала, оказалось необходимым привлечь современные средства ЭВМ и математический аппарат, наработанный Гуревичем Ю.М. (Астафьев, 1979).

При изучении нарушения эллиптичности изолиний электрического заряда, экспериментально выявлено наличие «ложных» аномалий, связанные с растеканием тока во взаимно-перпендикулярных направлениях в земной коре в поле двухточечного источника возбуждения поля (Медведев, 1990, Кожевников, 1986), в связи с чем решается задача подхода к изучению нормального поля заряда, создана программа расчета нормального поля на основе эмпирической формулы.

По результатам метода электрического заряда рассчитываются коэффициенты анизотропии с учетом удаления от точки заряда, которые в дальнейшем учитываются при вычислении нормальных полей, (Пыжьянов, 2018) с учетом положения объектов в пространстве с помощью углов Эйлера.

Для обработки данных метода заряда использована система обработки, созданная в г. Уфа, авторы Семенов В. Д., Гуревич Ю. М., Гаррис Ю. В. и Сабитова Х. Т. (Семенов, 1985, Гаррис, 1982)

Комплекс программ по обработке данных метода заряда написан на языке FORTRAN, меню – оболочка состоит из главной линейки меню, из которой можно перейти на нижние уровни линейки для запуска программ, написана на VBA6.0 Пыжьяновым Ю. Б. (Пыжьянов, 2018).

Потребность в выделении аномальной составляющей поля в геофизических методах обусловлена, прежде всего, стремлением представить данные измерений таким образом, чтобы причинная зависимость возмущений поля проявлялась достаточно ясно (Семенов М.В., 1984). Задача разделения полей в

методах электроразведки постоянным током возникла вследствие усложнения условий поисков и разведки глубокозалегающих рудных месторождений. Один из возможных путей ее разделения основан на выделении аномального поля, с последующим разделением эффектов от объектов, отличающихся электропроводностью, формой, размерами и положением в пространстве. В результате анализа аномального поля сравнительно просто установить факторы, влияющие на вид и интенсивность аномалий от различных геоэлектрических объектов, и условия, благоприятные для их возбуждения, разработать способы решения прямой и обратной задач.

Поле точечного источника, характеризующееся свободным растеканием тока, изученное по площади, несет в себе богатую информацию о геологических объектах разнообразной электропроводности и ориентировки, оказавшихся в зоне действия установок. Задача заключается лишь в том, чтобы научиться полно, использовать эту информацию. Съемка методом заряда содержит в себе элементы электропрофилирования, зондирования и исследования естественных заземлений. Не случайно основоположник метода К. Шлюмберже использовал результаты измерений потенциала поля точечного источника не только для определения параметров заряженных рудных тел, но и в целях картирования контактов горных пород и оценки их электропроводности.

Попытки использовать в методе заряда параметр кажущегося сопротивления (КС) не является выходом из положения. Автор (Семенов М. В., 1984) исследовал этот вопрос и пришел к выводу, что вычисление КС в методе заряда оправдано лишь в случае изучения сред с пологим залеганием слоев. Тела ограниченных размеров создают знакопеременные в пространстве аномалии, и в этом случае может не быть соответствия между кажущимся и истинным сопротивлениями. При определенной ориентировке первичного поля над электропроводным рудным телом наблюдается относительное увеличение КС, а объект – изолятор, напротив, вызывает уменьшение этого параметра. Поэтому, для повышения геологической эффективности метода заряда представляется целесообразным главное внимание уделить задаче выделения и интерпретации аномальной составляющей.

Для расчета нормального поля по методике Сапожникова В. М. Пыжьяновым Ю.Б. написана программа, суть которой заключается в том, что рассчитываются радиальные лучи, на каждом из которых вычисляется среднее значение потенциала, которое считается нормальным, и оно в какой-то степени учитывает геометрию установки и особенности среды. Затем из наблюдаемых данных нормальное значение вычисляется, и остаточное поле принимается за аномальные значения поля. Следует отметить, что поле, полученное по методике Сапожникова В.М. более детально, характеризует положение проводящих объектов, их простираение.

Программа на основе эмпирических формул для обработки метода заряда с измерением электрической составляющей написана на языке Fortran IV и реализована как подпрограмма для подключения к основному модулю. Основной особенностью является, ввод эмпирических коэффициентов для учета поля анизотропии с максимальным приближением к форме изолинии

заряда (Пыжьянов, 2018) для учета нарушения эллиптичности изолиний, ввод углов Эйлера для учета поля по простиранию, падению и скатыванию. На основе расчета аномального поля, выделяются четыре области из наблюдаемого поля, которые являются стандартными типами практически для всех наблюдаемых полей электрического заряда на Урале. Области распространения, то есть углы простирания этих областей, условно выделяемых как нормальное поведение поля в аномальной составляющей поля.

Интерпретация материалов электрического заряда 85Б и данных МЭК, рудопроявления «Новое» с глубины 70м. Съемка выполнена на площади 4,5 км по системе профилей в масштабе 1:5000 (основной шаг через 50м) по схеме потенциала. Измерения выполнены отрядом ООО «Геофизик» под руководством Р.Ф. Гилязтдинова на рудопроявлении «Новое» с глубины 70м в ХМАО. (Глушков, 2009)

По полю изолиний наблюдаемого электрического потенциала (заряд на глубину 70м) можно судить о северо-западном и северо-восточном простирании электропроводящих зон (рис. 1). Рудопроявление в районе скважины 128А выделяется как незаряженный проводник по разряжению изолиний. Также выделяется широтное нарушение, которое проходит по профилю 42, через скважину 85Б.

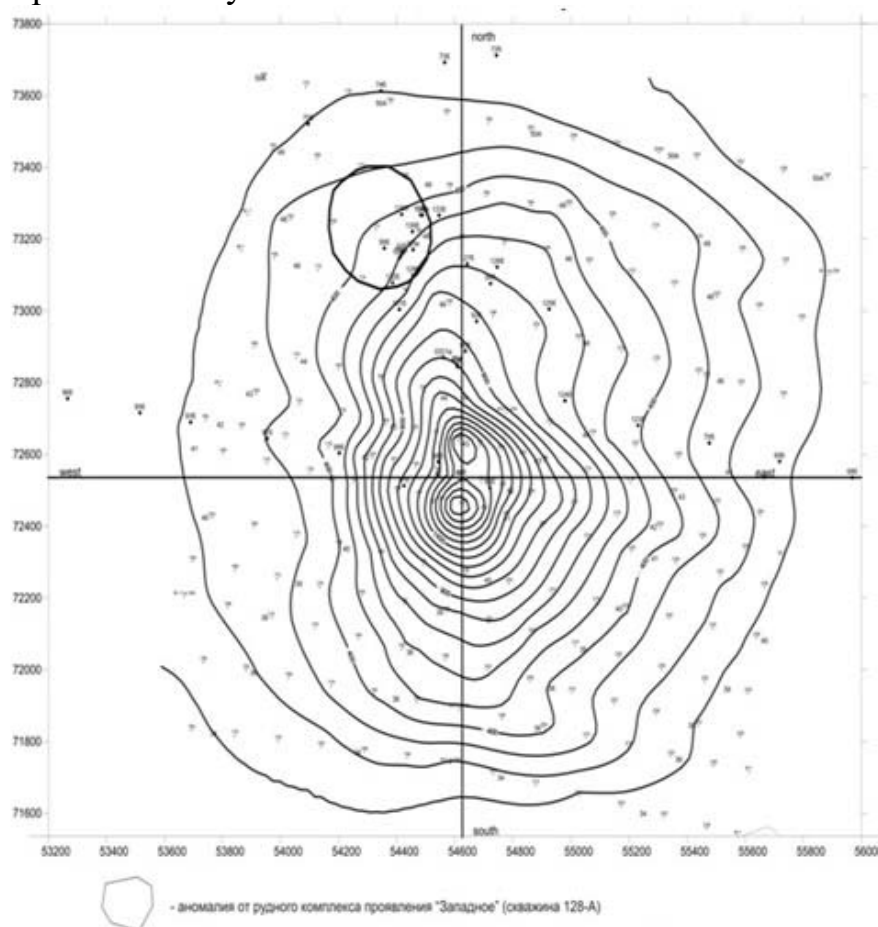


Рис. 1. Наблюдаемое поле электрического потенциала. Сква.85Б, глубина заряда 70

Подобранная модель для 2-х слойной среды с параметрами среды:
сопротивление 1-го слоя 25 Ом·м, мощность 1-го слоя - 25 м;
сопротивление 2-го слоя 3500 Ом·м.

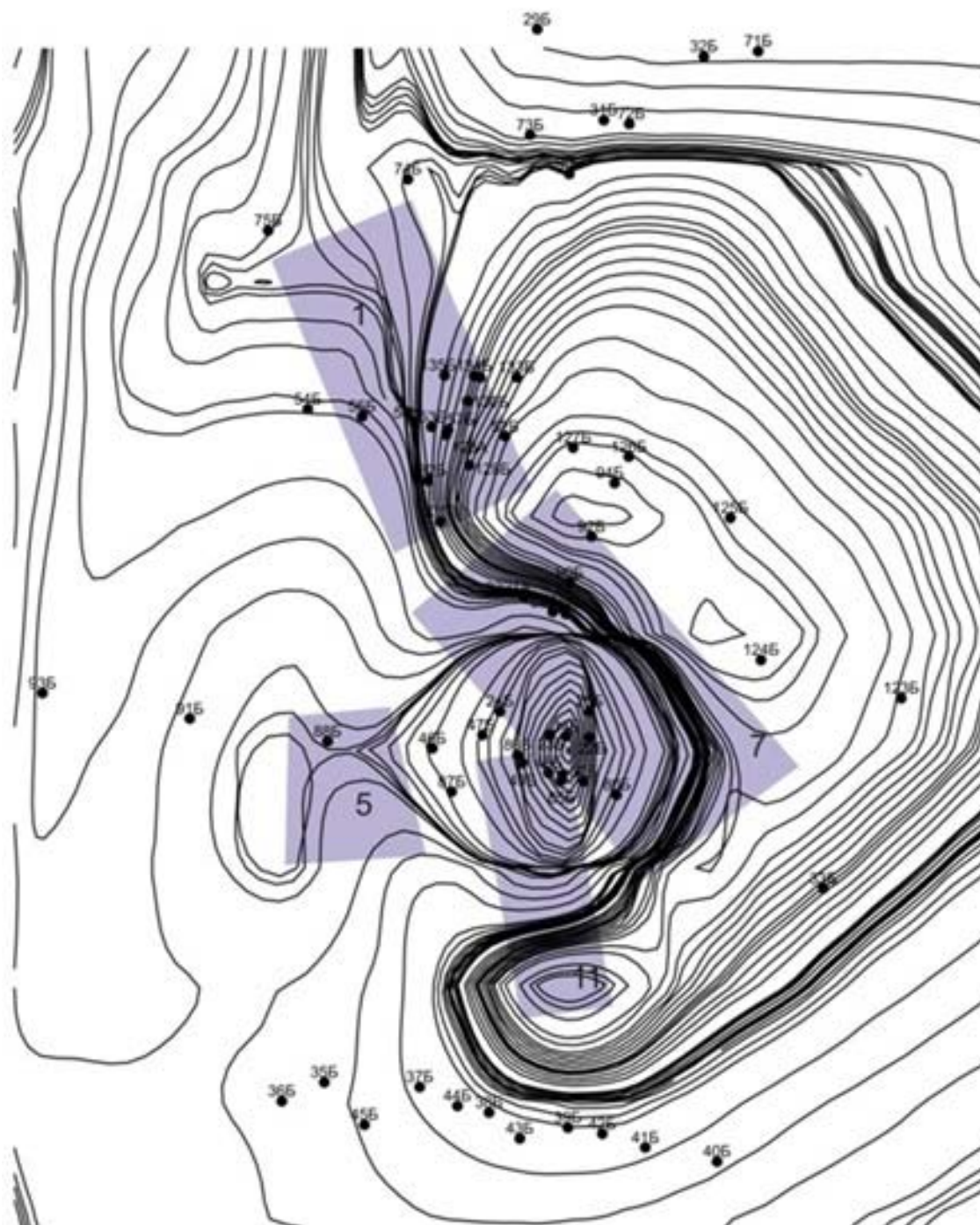


Рис.2. Модель для 2-слойной среды

Судя по виду изолиний и на основании выделенного незаряженного проводника, таких аномальных зон выделяется еще несколько. Сам заряженный проводник, в скважине 85Б, на глубине 70 м, выделяется двумя максимумами, что может говорить, о том, что объект заряжен в середину или он представлен двумя объектами. Для решения задачи предпринята попытка выполнения моделирования нормального поля вмещающей среды разными моделями, рассчитать аномальное поле и по образам полей, рассчитанных Семеновым

В.Д. (Кормильцев, 1987, Семенов, 1985) подобрать модели электропроводящих объектов. В первом случае – это модель 2-слойной среды с параметрами, сопротивление 1-го слоя 25 Ом, мощность 1-го слоя – 25 м, сопротивление 2-го слоя – 3500 Ом.

На рис. 2 отображены результаты полученного аномального поля с подобранными образами объектов, положение которых на рисунке изображено голубовато-зеленым цветом.

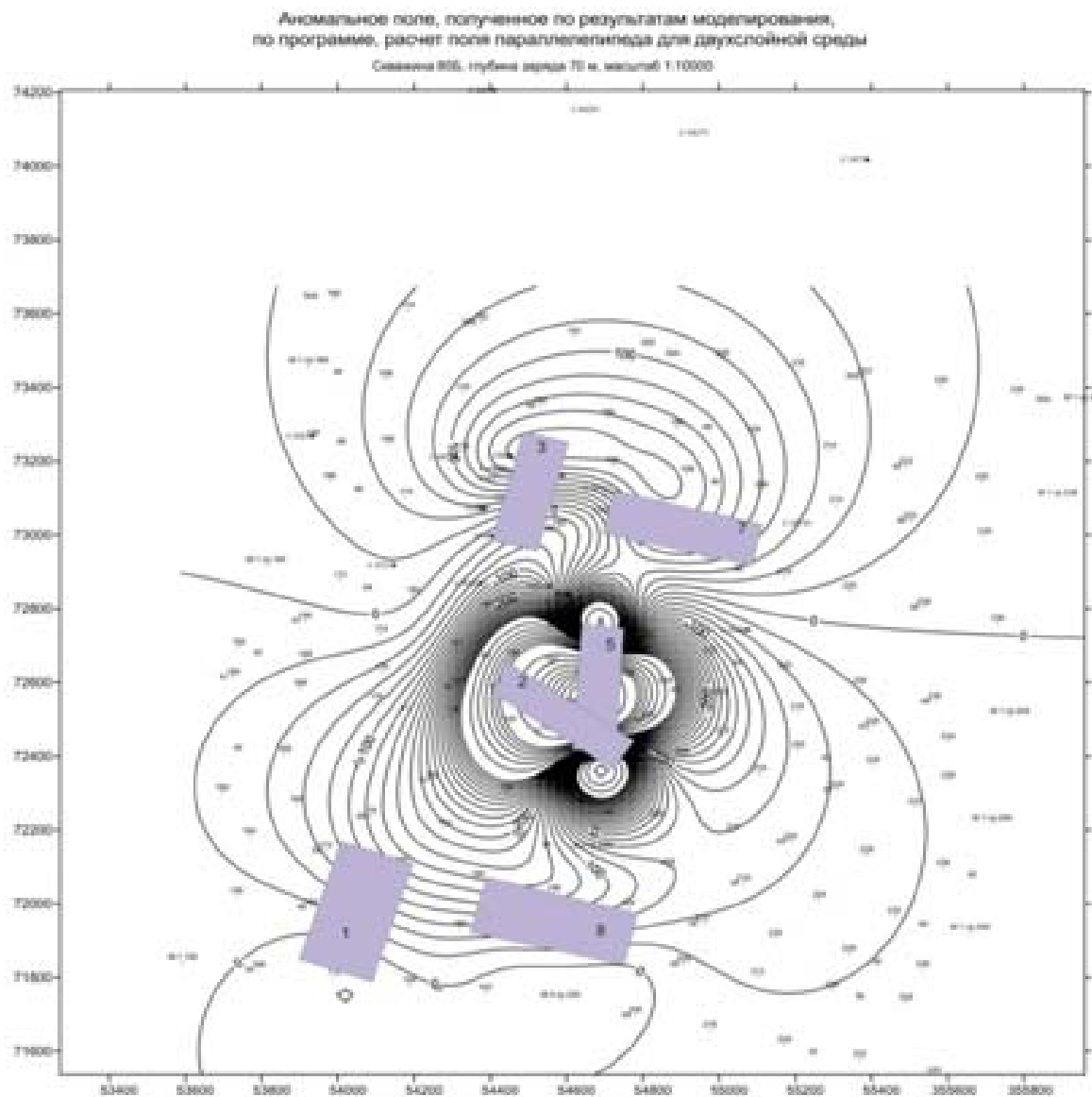


Рис. 3. Результаты моделирования

1-й объект, в плане соответствует положению рудного тела, подсеченного скважиной 128А. Объекты 7 и 11, связаны с подсечением рудных тел по скважине 85Б (глубины 30 и 70 метров), но которое из них выше или ниже пока трудно сказать, так как объекты выделены по данным аномального поля, представленное суперпозицией полей от разных объектов. О природе 5-го объекта пока сказать ничего нельзя, необходимы дополнительные данные. Были рассчитаны поля сопротивления, локального потенциала, модели трехслойной среды.

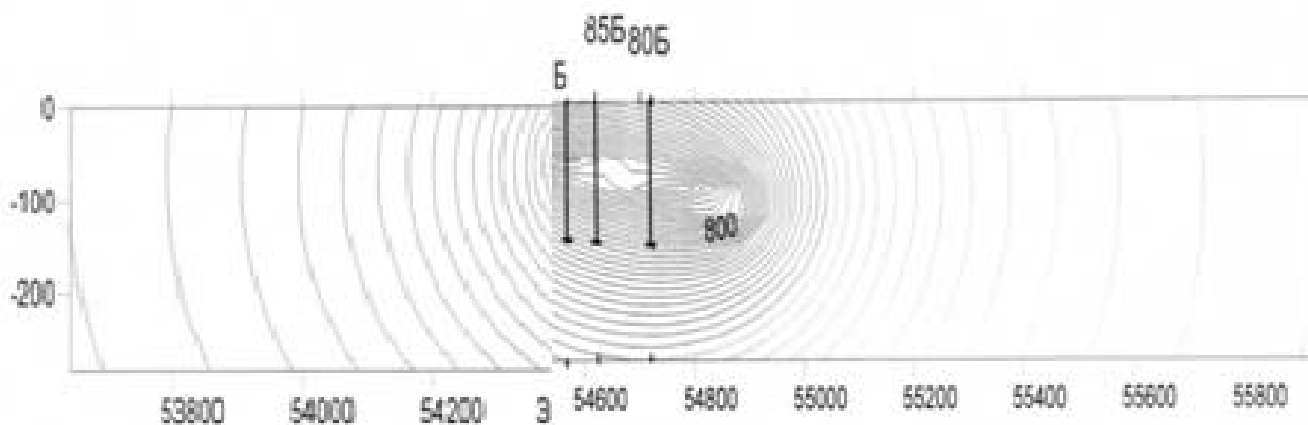


Рис. 4. Поперечный профиль

Делается вывод, что при моделировании полем параллелепипеда необходимо учитывать тройку углов Эйлера, простираение, скатывание и падение. Для решения этой задачи была написана программа, которая позволяет более уверенно судить об истинном положении моделей в пространстве. На основании этих данных была предпринята попытка моделирования среды с использованием модели в виде параллелепипеда для двухслойной среды. Результаты моделирования отображены на рис. 3. В общих чертах план аномального поля, полученный путем суммирования полей от разных объектов, совпадает с полем аномального электрического потенциала (смотрите рис.2), рассчитанного для двухслойной среды с параметрами 1-го слоя, сопротивление – 25 Ом, мощность – 25 м, сопротивление 2-го слоя – 3500 Ом.

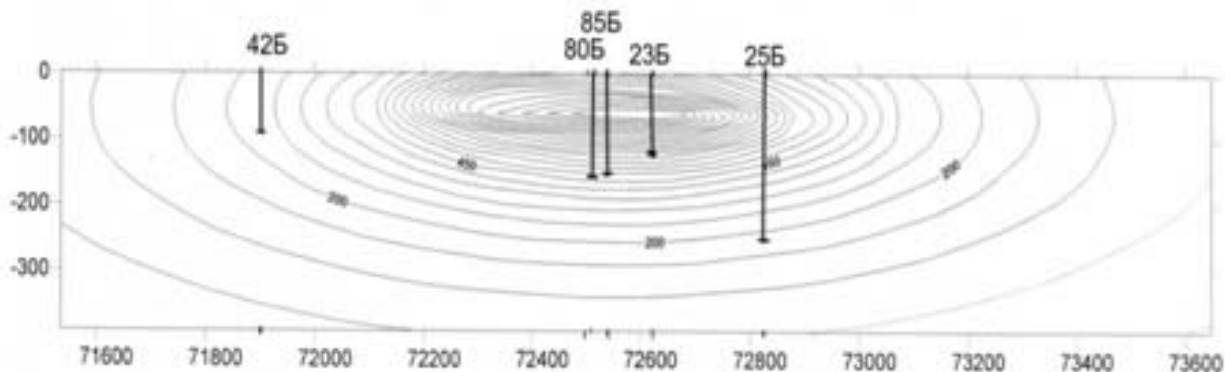


Рис. 5. Продольный профиль

Нумерация моделей своя, 2, 3 и 5 модели совпадают с положением рудных тел, подсеченных скважинами 128А и 85Б. Модели 1, 7 и 8 – перспективные участки, которые необходимо проверять бурением. Дополнительно к расчету моделей, были выполнены расчеты программой POLE2D для поперечного и продольного профилей, проходящих через зарядную скважину 85Б, которые показаны на (рис.1). На поперечном профиле (рис.4) просматривается электропроводящая зона, имеющая восточное падение и видно продолжение зоны на восток от скважины 80Б на глубинах 150 и 200 м.

На продольном профиле (рис.5) просматривается горизонтальное положение проводящей зоны в направлении север – юг. Скважины 25Б и 42Б, в плане,

ограничивают зону с севера и юга. То есть по простиранию зона около 900 метров.

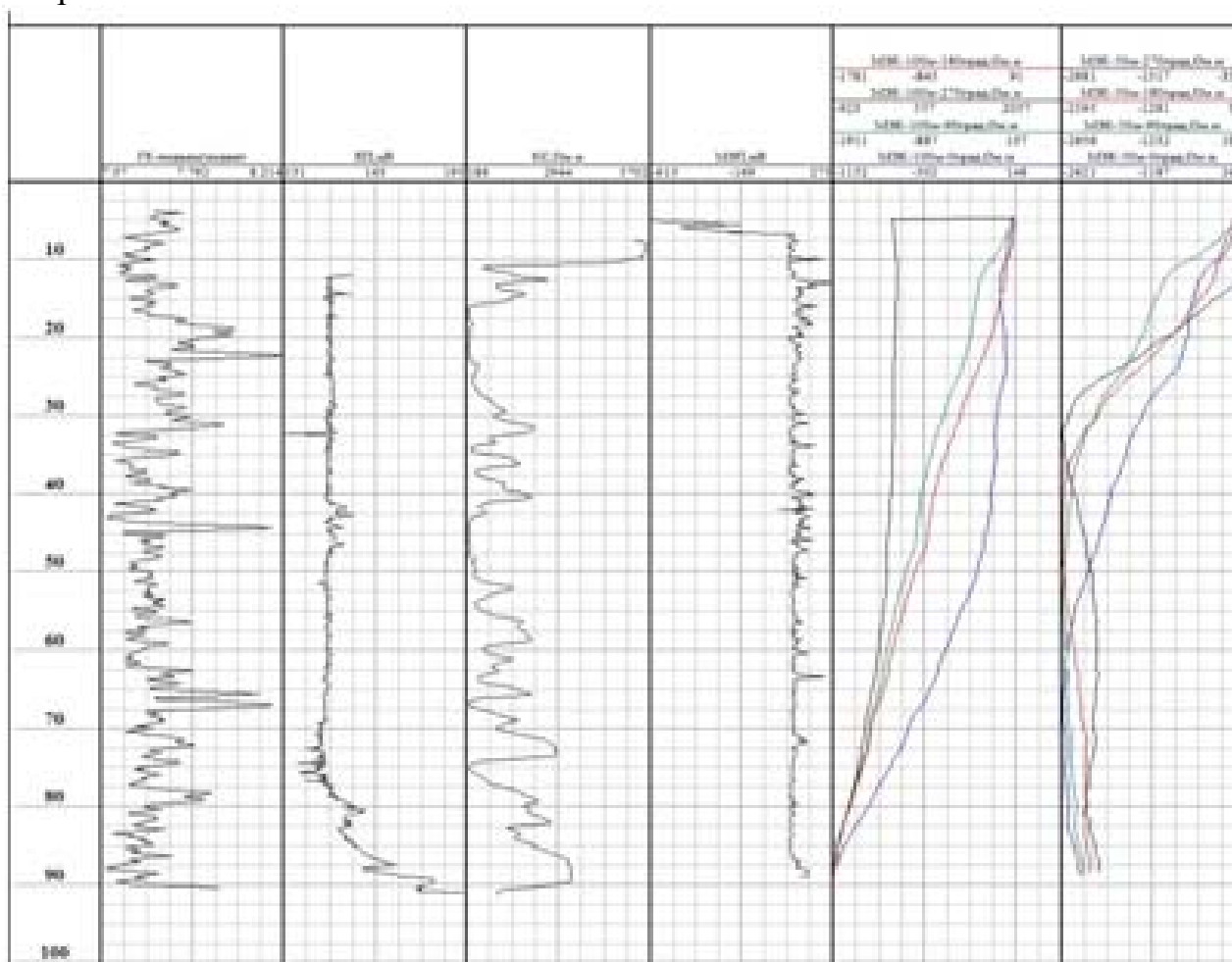


Рис. 6. Кривые МЭК

На кривых МЭК в поисковом варианте, (рис. 6) по данным скв.42Б (находится на юге зоны), о наличии крупной электропроводящей зоны сказать ничего нельзя, в интервале 42- 50 метров для МЭК – 50м 180 градусов (с юга) можно говорить о небольшом объекте, который имеет наибольшее распространение на север. На северной кривой МЭК – 100м просматривается локальный максимум в этом интервале. Возможно – это влияние электропроводящей зоны, подходящей с севера. На кривой КС – это интервал низкого сопротивления, по МЭП – минерализации не видно.

На рис. 7 отображен план аномального электрического потенциала, обработанного по методике Сапожникова В.М, по скважине 85Б, глубина заряда 70м. На основании результатов систематизации аномальных эффектов в МЗТ (Кормильцев, 1987) выделено пять объектов, выделены на плане красным цветом. Положение 1,7 и 10 объектов подтверждено скважинами, объекты 4 и 11 являются перспективными, глубина до центра объектов 100 – 200 м. На этом плане голубовато-зеленым цветом показаны объекты математического моделирования. Оцифровка моделей другая, частичное совпадение положения объектов наблюдается для 2, 3, 5 и 8 моделей, что говорит о том, что математическая модель нуждается в доработке.

План аномального электрического потенциала, рассчитанного по методике Саложникова В.М., скв. 85Б, глубина 70 м

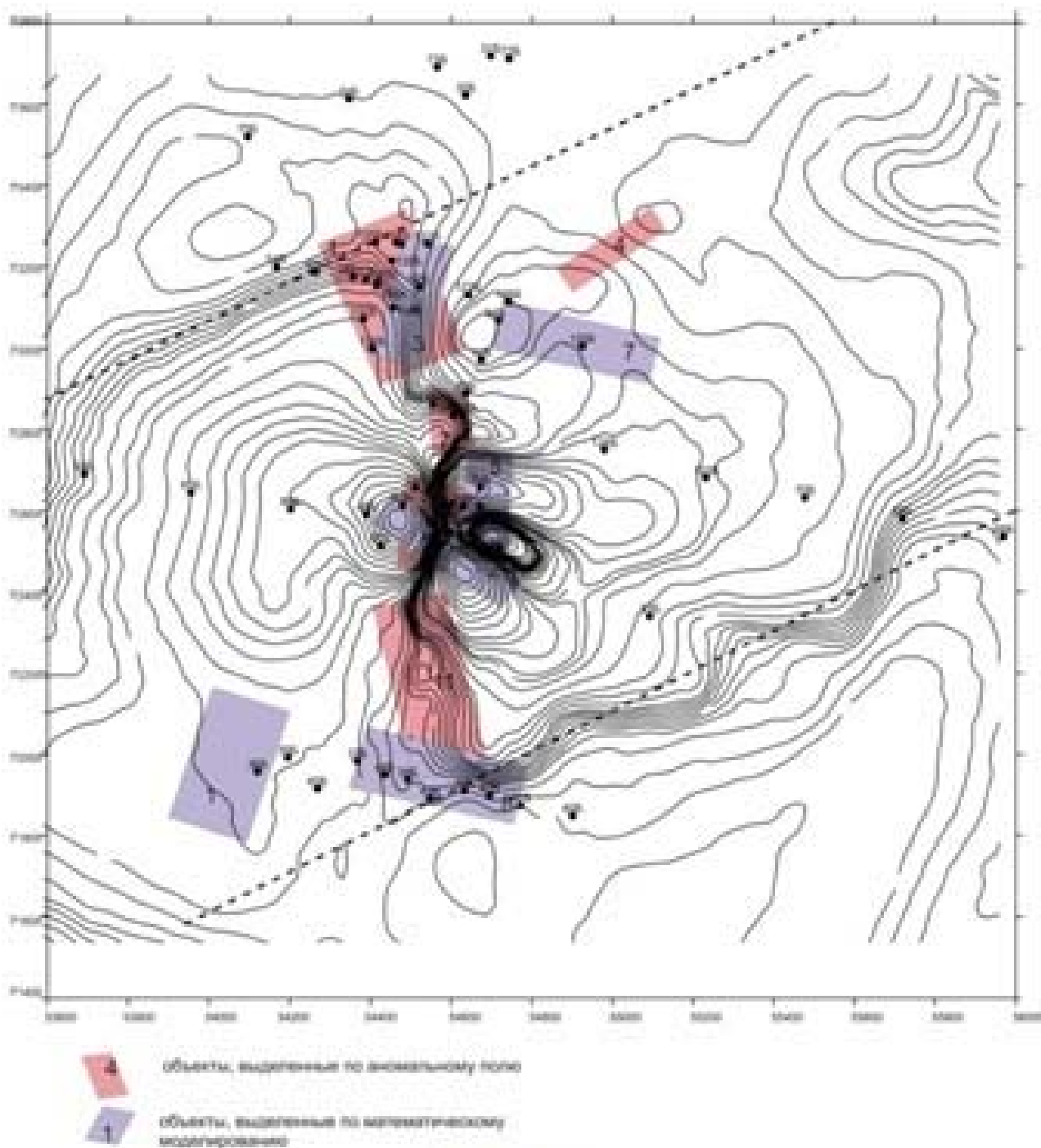


Рис. 7. План аномального электрического потенциала

При рассмотрении всех результатов, полученных при обработке данных заряда по скважине 85Б, получается довольно сложная картина наличия электропроводящих объектов, положение которых в одном случае подтверждено скважинами, а положение перспективных участков нуждается в проверке путем бурения скважин. Для решения этой задачи были привлечены материалы корреляции, вариант МЭК поисково-картировочный.

На Западном рудопроявлении выполнен большой объем корреляции в межскважинном и поисково-картировочном варианте, (Козырин, 1985). Имеются данные по следующим скважинам 22Б, 23Б, 24Б, 25Б, 26Б, 27Б, 30Б, 31Б, 37Б, 38Б, 40Б, 41Б, 44Б, 45Б, 46Б, 47Б, 49Б, 50Б, 51Б, 52Б, 56Б, 57Б, 80Б, 86Б, 87Б, 128А, 128Б, 130Б, 131Б, 132Б, 133Б, 134Б, 135Б. Для совместного использования данных корреляции в поисково-картировочном варианте и электрического потенциала заряда по скважине 85Б (глубина 70 м) использована следующая методика. На дневной поверхности имеется электрический потенциал, рассчитанный для заряда в скважину 85Б. Так как заряд и корреляция выполнялись с одной установкой удаленного электрода В (координаты $X = 60147$ м, $Y = 71430$ м), существует предпосылка для общей обработки данных. Использован принцип взаимности, который позволяет данные, наблюдаемые по скважине переносить на точку заряда электродов при поисково- картировочном варианте. В точке, положения электрода А, имеется значения потенциала электрического поля, рассчитанное для заряда в скв.85Б, значение которого принимается как исходное, а по скважине снимаются значения потенциала электрического поля корреляции, по которым прослеживается изменение потенциала на глубину. Таким образом, получены данные, как по дневной поверхности, так и на глубину.

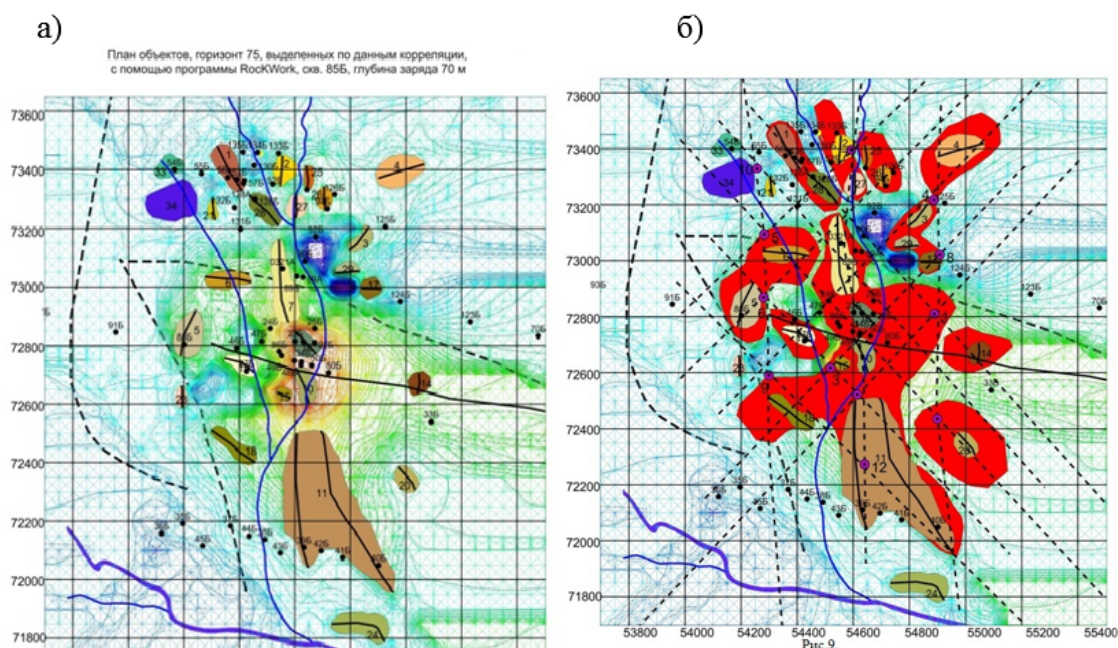


Рис.8. План электропроводящих объектов

На рис. 8 (а) показан сводный план электропроводящих объектов, выделенных по данным корреляции в поисково-картировочном варианте, обработанных с помощью программы RockWork. Разным цветом показаны оси простиранья объектов по разным горизонтам. В этом плане интересно то что, например для 18 объекта, положение осей не совпадает и таким образом можно проследить, как объект изменяется в пространстве. То же самое можно сказать и об объекте 6. Также показаны контуры объектов, полученные при интерпретации зарядов из скв.128А и 85Б и математические модели. Для привлечения материалов

корреляции и каротажа было выполнено описание результатов этих работ по скважинам, данные по которым были использованы при интерпретации. На рис.8 (б), для горизонта 75 имеется аналогичная картина, как и для горизонта 95, но добавилась зона 10, в северо-восточном углу планшета. На рисунке видим ряд объектов 21, 23, 24, 28, 32, 33, 34, 30, положение которых не подтвердилось при выделении электропроводящих зон. По плану положения объектов и электропроводящих зон выделена предполагаемая сеть тектонических нарушений, узлы которых (точки пересечений) могут быть рекомендованы для проверки бурением скважин глубиной до 300м.

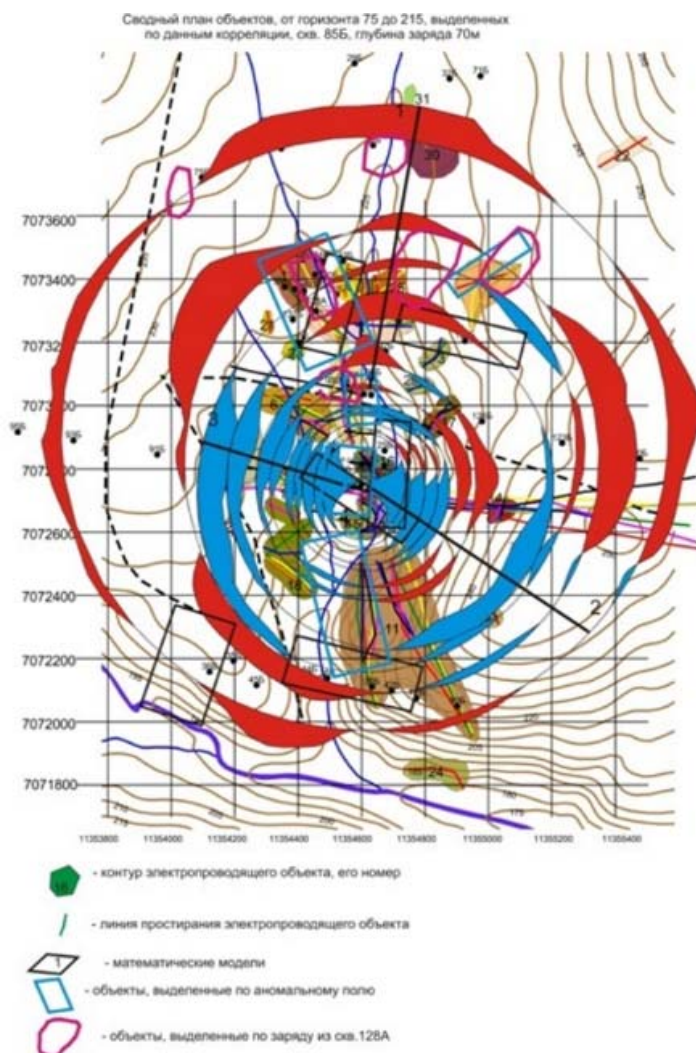


Рис. 9. Результаты интерпретации на Западном участке

Результаты интерпретации на Западном участке (Глушков, 2009) с учетом изучения нормального поля по эмпирической формуле приведены на рис. 9. Где отображена информация об объектах, выделенных по данным обработки МЗТ и МЭК. По результатам обработки электрического заряда с учетом изучения нарушения эллиптичности изолиний по эмпирическим формулам (Пыжьянов, 2018), были выделены 4 области, северная и юго-западная области поля, показаны красным цветом и северо-западная и юго-восточная области, показаны синим цветом. Смотрите рисунок 9. Красным цветом показано

увеличение поля, а синим уменьшение. Аномалии в этих областях являются на взгляд автора нормальными свойствами (это явление поляризации среды) электрического заряда и эти области можно исключить из дальнейшего изучения площади этого рудопроявления. Направление – южное, в котором трудно уверенно выделить нормальное отклонение от эллиптичности изолиний, можно считать перспективным для дальнейшего изучения.

В заключении следует сказать, на основании всех изложенных материалов, что на этом участке мы имеем дело с куполообразной формой аномальной зоной с центром, в районе скв.85Б, полого погружается на север, на запад и на восток. Южное направление, объект 11, необходимо дополнительно проверять бурением скважин. Район аномалии ВП, где выделены объекты 6, 19 и 18, совпадает с положением зоны с нормальным нарушением эллиптичности изолиний, поэтому в дальнейшем его следует исключить из дальнейшего изучения. Следует отметить, что подбор изолинии совпадающей максимально с контуром наблюдаемой изолинии, занятие довольно трудоемкое. Но оно решается при исследовании магнитного поля метода заряда, так как области, выделяемые по признаку нарушения эллиптичности изолиний, совпадают с нулевыми изолиниями в магнитном заряде (Медведев, 1990, Кожевников, 1986).

Библиографический список:

1. *Родионов П.Ф.* «Электроразведка колчеданных месторождений Урала методом заряда». Свердловск, 1959 г.
2. *Кормильцев В.В., Семенов В.Д.* «Электроразведка методом заряда». Москва, «Недра», 1987 г.
3. *Семенов М.В., Шишов И.В.* «Применение метода мелкомасштабного заряда при поисках медно-никелевых руд на флангах и глубоких горизонтах месторождений Кольского полуострова». Люберцы, Московская область. ВИНТИ.
4. *Сапожников В.М.* «Математическая обработка и интерпретация материалов метода заряда». Ч.1. Учебное пособие. Свердловск. Изд. УПИ им. С.М. Кирова, 1977.
5. *Родионов П.Ф.* «Электроразведка методом заряда». Москва, Наука, 1971 г.
6. *Коврижных П.Н.* «Электроразведка анизотропных поляризующих сред». Диссертация на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук. Свердловск, 1986 г.
7. *Семенов М.В., Сапожников В.М., Авдеевич М.М., Голиков Ю.В.* «Электроразведка рудных полей методом заряда». Ленинград, Недра, 1984 г.
8. *Астафьев П.Ф.* «Совместные измерения электрического и магнитного поля в методе заряда». Диссертация на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук. Свердловск, 1985 г.
9. *Семёнов В.Д.* «Усовершенствование модификации метода заряда с измерением магнитного поля применительно к поискам глубокозалегающих колчеданных руд». Диссертация на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук. Свердловск, 1985 г.
10. *Егоров М.Н., Гуревич Ю.М., Семёнов В.Д.* «Метод заряда с измерением магнитного поля при разведке и поисках рудных месторождений». Методическое руководство. 1988 г.
11. *Родионов П.Ф., Кормильцев В.В.*, «Электроразведка методом заряда с измерением напряженности магнитного поля». 1979 г.
12. *Семёнов М.В.* «Методические рекомендации по геологической интерпретации материалов метода мелкомасштабного заряда с использованием ЭВМ». Ленинград, 1980 г.
13. *Сапожников В.М.* «Математическая обработка и интерпретация материалов метода заряда». Ч.1. Учебное пособие. Свердловск. Изд. УПИ им. С.М. Кирова, 1977.

14. *Козырин А.К.* «Электрическая корреляция разрезов скважин», Москва. Недра, 1985 г.
15. *Гаррис Ю.В., Хакимов Б.В., Сабитова Х.Т., Семёнов В.Д.* «Использование способа нормирования переменных при выделении аномальной составляющей поля в методе мелко-масштабного заряда». Сборник «Электрометрические исследования методом заряда», Свердловск, 1982 г.
16. *Родионов П.Ф., Бабенков В.Е., Гаррис Ю.В.* «Применение метода заряда при поисках глубокозалегающих колчеданных месторождений на Урале». Сборник статей Электроразведка в области скважин на колчеданных месторождениях Урала. Свердловск, 1975 г.
17. *Астафьев П.Ф., Гуревич Ю.М., Кормильцев В.В.* «Сравнение аномалий электрического и магнитного поля заряженной пластины в случаях двухэлектродной питающей установки».
18. *Саковцев Г.П., Сапожников В.М., Голиков Ю.В.* Построение геомеханических моделей массивов рудовмещающих горных пород по данным скважинной электрметрии // Изв. вузов, Горный журнал. 1978, №8. с. 3–8.
19. *Глушков А.Н., Кошевой Ю.Н., Петров Г.В. и др.* Прогнозно-поисковые работы на медь в пределах Западной площади. Отчет 50-06-65/4. ОАО «Уральская геологосъёмочная экспедиция». 2009 г.
20. *Результаты* комплексных электрометрических работ на медноколчеданных месторождениях Урала. Авторы: Медведев А.Н., Ратушняк А.Н., Пыжьянов Ю.Б. г. Свердловск, 1990 г. Институт геофизики УрО АН СССР.
21. *Отчет* по опытно-методическим работам по применению комплексной методики наземных и скважинных измерений в методах магнитного заряда и переходных процессов с использованием аппаратуры «Цикл» и «АМЗ» при поисках меднорудных месторождений. Авторы: Кожевников А.А., Пыжьянов Ю.Б., Медведев А.Н., Ратушняк А.Н. г. Свердловск, 1986 г.
22. *Лукин В.Г., Стороженко Е.В., Казаков И.И. и другие.* Прогнозно-поисковые работы на медные руды в пределах Котлиинско-Луцоульинской площади с выполнением детализационных работ на ключевых участках. Отчет 50-07-46.1. ОАО «Уральская геологосъёмочная экспедиция». 2009 г.
23. *Отчет* о результатах переинтерпретации геофизических материалов по Дегтярско-Полевскому району. Авторы Жданов С.А., Пыжьянов Ю.Б. г. Свердловск, 1984 г.

3.3. Арсанукаев, Е.Г. Рудаковская

Российский химико-технологический университет им. Дм. Менделеева, Москва, www.muctr.ru

ОБ ОДНОМ ПРИМЕРЕ РЕШЕНИЯ ЛИНЕЙНОЙ ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ В СЛУЧАЕ НАКЛОННОГО ПЛАСТА НЕОДНОРОДНОЙ ПЛОТНОСТИ

На протяжении ряда лет авторами разрабатывается технология, позволяющая определять положение аномалиеобразующих тел в толще Земли по результатам гравиметрической съемки. Линейная обратная задача т.е. нахождение распределения масс для этого модельного примера решается в 2 этапа. На первом шаге определяется контур возмущающего тела. На втором этапе определяется распределение плотностей в найденном контуре наклонного пласта.

Ключевые слова: линейная обратная задача, наклонный пласт, неоднородная плотность

ABOUT ONE EXAMPLE OF SOLVING A LINEAR REVERSE PROBLEM IN THE EVENT OF A SLOPE PLATE OF INHOMOGENEOUS DENSITY

Over the years, the authors have been developing a technology that makes it possible to determine the position of anomalous bodies in the interior of the Earth based on the results of gravimetric surveys. Linear inverse problem i. finding the mass distribution for this model example is solved in 2 stages. In the first step, the contour of the disturbing body is determined. At the second stage, the density distribution in the found contour of the inclined formation is determined.

Key words: linear inverse problem, inclined formation, inhomogeneous density

На протяжении ряда лет авторами разрабатывается технология, позволяющая определять положение аномалиеобразующих тел в толще Земли по результатам гравиметрической съемки (Арсанукаев З.З., 2003, 2004, 2009, 2012, 2013, 2015), (Арсанукаев З.З., Рудаковская Е.Г., 2017, 2018). Эта технология основывается на теории дискретных схем (Самарский А. А., 1971), (Страхов В. Н., Арсанукаев З. З., 2001) и результатах вычислительных экспериментах, в основе которых лежат положения теории. В результате проведенных вычислительных экспериментов было изучено поведение расчетного гравитационного поля в нижнем полупространстве, полученного по измеренным значениям гравитационного поля на поверхности Земли. Было установлено, что расчетное поле в нижнем полупространстве имеет ряд характерных особенностей, в которых значения поля скачкообразно меняется или его значения становятся бесконечно большими. Этим особым точкам поля соответствуют геометрические особенности поверхности самих тел создающих поле, в которых поверхности имеют резкие изломы, разрывы непрерывности и т.п. Ясно, что если удастся получить с достаточной точностью значения гравитационного поля в нижнем полупространстве по измеренным на поверхности Земли значениям поля, то по особым точкам поля можно будет определить положение характерных особенностей поверхности самого возмущающего тела. И тем самым, определить контур аномалиеобразующего тела.

В результате многочисленных вычислительных экспериментов, проведенных на модельных примерах для возмущающих тел однородной плотности (геологическими аналогами для них являлись рудные залежи жиллообразной и линзообразной формы или блоковые структуры типа горстов или грабен и др.) было установлено влияние формы поверхности на поведение расчетного гравитационного поля в нижнем полупространстве, получаемого в результате аналитического продолжения (Арсанукаев З.З., 2015). Вместе с тем, всем этим телам присущи и общие закономерности в поведении расчетных гравитационных полей, что позволяет с высокой точностью определять уже для самих тел положения верхней кромки и центра тяжести тел; с высокой точностью также определяется положение верхних особенностей тел с использованием функции Берез-

кина. Что касается нижней границы возмущающих тел, то она находится с достаточной точностью по определенным выше положениям верхней границе и центру тяжести для однородных по плотности тел (Арсанукаев З.З., 2013).

Остается нерешенным вопрос о нахождении плотности возмущающих тел, поскольку описанная технология выше позволяет по гравитационной аномалии определять лишь контур возмущающих объектов. Вместе с тем, некоторых частных случаях удастся довести до самого конца решение обратной задачи о нахождении распределений масс в нижнем полупространстве с использованием настоящей технологии и при наличии априорной информации. Один из таких примеров (в модельных условиях) рассматривается ниже.

Возмущающий объект имеет форму наклонного пласта переменной плотности (рис.). При решении прямой задачи для получения аналитического выражения аномалии силы тяжести, пласт рассматривается как «разность» двух подобных наклонных уступов, расположенных на одинаковой глубине и смещенных один относительно другого на величину d , равной горизонтальной мощности пласта. Наклонным уступом, по определению, называется тело бесконечного простиранья (здесь в направлении оси Oy , направленной перпендикулярно плоскости рисунка) ограниченное двумя горизонтальными и одной наклонной плоскостью.

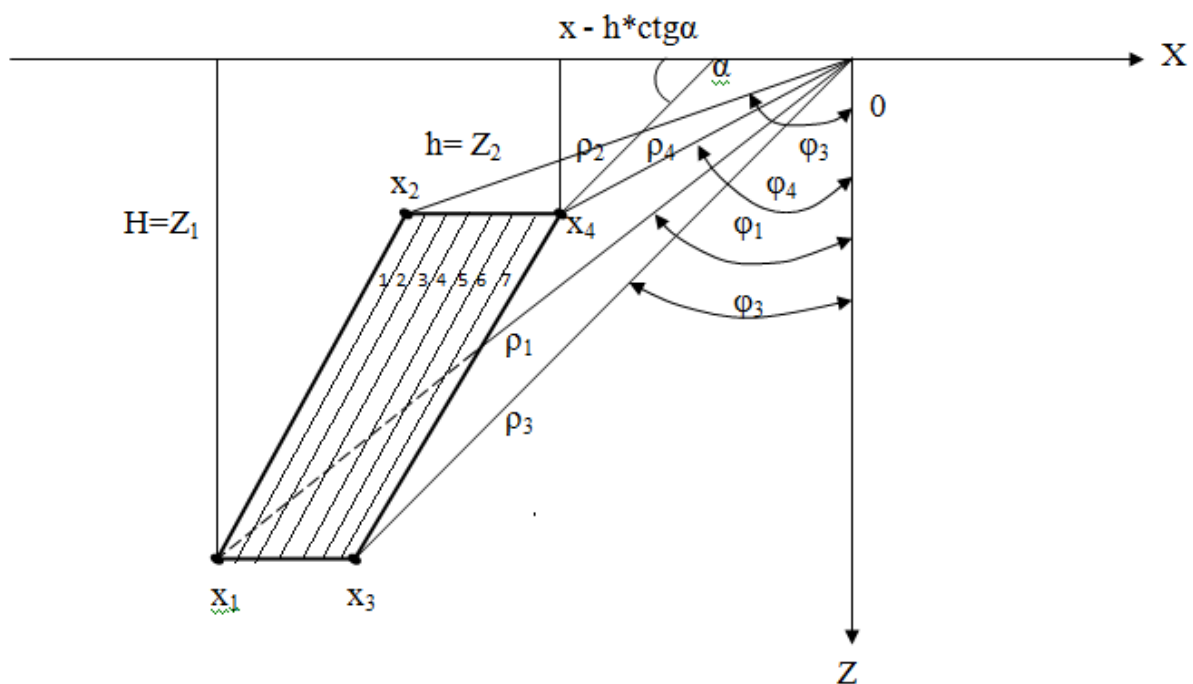


Рис. Схема наклонного пласта переменной плотности.

В результате значение аномалии силы тяжести Δg для наклонного пласта однородной плотности, представляющее собой точное решение прямой задачи, имеет вид (1) и записывается в полярных координатах (Андреев Б. А., Клушин И.Г., 1965):

$$\Delta g = 2f\sigma h \left\{ \zeta(\varphi_1 - \varphi_3) - (\varphi_2 - \varphi_4) + \right. \\ \left. + \xi \sin^2 \alpha \ln \frac{\rho_1}{\rho_2} - (\xi - n) \sin^2 \alpha \ln \frac{\rho_3}{\rho_4} - \xi \cos \alpha \sin \alpha (\varphi_2 - \varphi_1) + \right. \\ \left. + (\xi - n) \cos \alpha \sin \alpha (\varphi_3 - \varphi_4) \right\}, \\ \text{где } \zeta = \frac{H}{h}, \eta = \frac{d}{h}, \xi = \frac{x}{h},$$

f – гравитационная постоянная, σ – избыточная плотность; $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_4, \rho_1, \rho_2, \rho_3, \rho_4$ – соответственно полярные углы и радиусы для наклонного пласта.

Линейная обратная задача, т.е. нахождение распределения масс для этого модельного примера решается в 2 этапа. На первом шаге определяется контур возмущающего тела, так как было показано выше (по расчетному полю и с построением функции Березкина определяются положения верхней кромки, верхних особенностей, нижней границы). Принимается, что неоднородный пласт состоит из 7 слоев однородной плотности (рис) соответственно: 1 – 2.12г/см³; 2 – 2.14г/см³; 3 – 2.16г/см³; 4 – 2.23г/см³; 5 – 2.30г/см³; 6 – 2.51г/см³; 7 – 2.37г/см³. Причем каждый из них также имеет форму наклонного пласта. Заданные значения гравитационного поля Δg (решение прямой задачи для исходного наклонного пласта как суперпозиция решений прямой задачи по формуле (1) для 7 пластов располагаются на 2 уровнях (профилях) $z=0$ и $z=-h$, каждый длиной 24 км, с шагом сетки h равным 0.2 км. В рассматриваемом модельном примере принимались: $h=4$ км, $H=8.8$ км, $x_3 - x_1 = x_4 - x_2 = 4.2$ км; $\alpha = 53$ градусов (рис.). В указанных модельных условиях заданное гравитационное поле аналитически продолжается в нижнее полупространство с помощью уравнения Лапласа, описывающего, как известно, поле вне возмущающих масс. Использование сеточного метода при дискретной аппроксимации дифференциального оператора Лапласа приводит к возникновению систем линейных алгебраических уравнений больших порядков. Так, при аналитическом продолжении заданных значений поля в нижнее полупространство на отметку в 4.0 км, размер A матрицы системы составляет: $A = 4760 \times 2420$. Затем системы решаются итерационным методом, основанным на идее подавления компоненты полезного сигнала (Страхов В. Н., Страхов А. В., 1999). Компьютерные программы, позволяющие составлять и решать системы линейных алгебраических уравнений в задаче аналитического продолжения, и решающие ряд других задач, объединены в пакет программ «GrAnM», разработанного первым из авторов. Подробное описание процедуры оконтуривания возмущающего объекта с построением последовательности аппроксимационных шагов при аналитическом продолжении с помощью пакета программ «GrAnM» приведено в (Арсанукаев З.З., 2013). Результаты расчетов показывают, что определение контура наклонного пласта на первом этапе решения линейной обратной задачи осуществляется с высокой точностью.

На втором этапе определяется распределение плотностей в найденном контуре наклонного пласта следующим образом. Предположим, что интерпретируемое поле u в k -ой точке с координатами (x_k, y_k, z_k) может быть представлено в виде

$$u(x_k, y_k, z_k,) = r_{1K_1(x_k, y_k, z_k,)} + \dots + r_{nK_n(x_k, y_k, z_k,)}, \quad (2)$$

где K_1, K_2, \dots, K_n - известные значения, характеризующие в k -ой точке вклад соответствующих параметров при их единичной величине, r_1, r_2, \dots, r_n - искомые параметры (плотности). Квазирешение данной задачи может быть найдено путем минимизации квадрата невязки, записанной в виде

$$\Gamma(r_1, r_2, \dots, r_n) = \sum_{k=1}^m [u(x_k, y_k, z_k, \dots) - \sum_{i=1}^n r_{iK_j}(x_k, y_k, z_k, \dots)]^2 = \min \quad (3)$$

Для минимизации можно воспользоваться необходимыми условиями экстремума функции нескольких переменных, которые, как известно, заключаются в равенстве нулю частных производных по всем переменным. Запишем эти условия, обозначив выражение в квадратных скобках формулы (3) как R:

$$\frac{\partial \Gamma}{\partial r_1} = \sum_{k=1}^m RK_1(x_k, y_k, z_k,) = 0,$$

$$\frac{\partial \Gamma}{\partial r_2} = \sum_{k=1}^m \text{RK}_2(x_k, y_k, z_k,) = 0, \quad (4)$$

.....

$$\frac{\partial \Gamma}{\partial r_n} = \sum_{k=1}^m RK_n(x_k, y_k, z_k,) = 0.$$

Полученная система линейных алгебраических уравнений называется системой нормальных уравнений или системой уравнений Эйлера. Она может быть переписана более подробно, при этом для краткости опустим пределы суммирования по k , а также аргументы функций Γ и обозначим $u_k = u(x_k, y_k, z_k)$:

$$\begin{aligned} r_1 \sum K_1^2 + r_2 \sum K_1 K_2 + r_3 \sum K_1 K_3 + \dots r_n \sum K_1 K_n &= \sum K_1 u_k \\ r_1 \sum K_2 K_1 + r_2 \sum K_2^2 + r_3 \sum K_2 K_3 + \dots r_n \sum K_2 K_n &= \sum K_2 u_k \\ r_1 \sum K_3 K_1 + r_2 \sum K_3 K_2 + r_3 \sum K_3^2 + \dots r_n \sum K_3 K_n &= \sum K_3 u_k \\ \dots\dots\dots(5) \\ r_1 \sum K_n K_1 + r_2 \sum K_n K_2 + r_3 \sum K_n K_3 + \dots r_n \sum K_n^2 &= \sum K_n u_k \end{aligned}$$

К решению задачи определения плотностей можно подойти по-другому: как к решению следующей переопределенной ($m > n$) системы линейных уравнений относительно тех же параметров:

3. *Арсанукаев З.З.* О некоторых вычислительных экспериментах, проведенных с использованием методов теории дискретных физических полей при решении задач гравиметрии в двухмерном случае. Ч. 2. Аналитическое продолжение в нижнее полупространство через источники поля. Материалы 30-й сессии Международного семинара им. Д.Г. Успенского «Вопросы теории и практики геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей», Москва, 27-31 января 2003 г. Москва, ОИФЗ РАН, 2003. С. 13–15.
4. *Арсанукаев З. З.* Вычисление пространственных элементов аномальных полей с использованием методов теории дискретных гравитационных полей. Ж-л «Физика Земли» № 11, 2004. С. 47–69.
5. *Арсанукаев З.З.* Аналитическое продолжение заданных значений гравитационного поля в дискретной постановке через источники в двумерном случае. Ж-л «Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле» 2009 №1. Выпуск 13.С. 47–57.
6. *Арсанукаев З.З.* О влиянии формы поверхности возмущающих тел на решение обратной задачи в технологии оконтуривания с использованием пакета программ «GrAnM». Статьи по материалам региональной научно-практической конференции «Геология и полезные ископаемые Западного Урала». 19-20 мая 2015 г. Пермь, ПГУ, 2015. С. 181–185.
7. *Арсанукаев З.З.* О возможностях организации технологии выделения перспективных разрезов в виде замкнутого технологического цикла. Материалы 40-й сессии Международного семинара им. Д.Г. Успенского «Вопросы теории и практики геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей». 38 января – 1 февраля 2013, г.Москва, 2012. С.33–38.
8. *Арсанукаев З.З.* Выделение и оконтуривание гравитирующих объектов современным методом пересчета гравитационного поля в нижнее полупространство. Ж-л «Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле» 2013, №1. Выпуск 21.С. 231–241.
9. *Арсанукаев З.З., Рудаковская Е.Г.* О некоторых особенностях в поведении расчетного гравитационного поля для рудных залежей жилообразной и линзообразной формы. Статьи по материалам региональной научно-практической конференции «Геология и полезные ископаемые Западного Урала». 23-24 мая 2017 г. Пермь, ПГУ, 2017. С. 128–132.
10. *Арсанукаев З.З., Рудаковская Е.Г.* О вычислительных методах при численном решении задачи аналитического продолжения заданных значений гравитационного поля. Статьи по материалам региональной научно-практической конференции «Геология и полезные ископаемые Западного Урала». 28 мая 2018 г. Пермь, ПГУ, 2018. С. 158–163.
11. *Ю.П. Боглаев.* Вычислительная математика и программирование. Москва « Высшая школа».1990г. 543 с.
12. *Самарский А. А.* Введение в теорию разностных схем. М.: Наука, 1971. 380 с.
13. *Страхов В. Н., Арсанукаев З. З.* Использование метода дискретного потенциала в задачах гравиметрии и магнитометрии // Вопросы теории и практики геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей: материалы 28-ой сессии Международного семинара им. Д. Г. Успенского, Киев, 20 января – 2 февраля 2001 г.г. М.: ОИФЗ РАН, 2001. С. 102–104.
14. *Страхов В. Н., Страхов А. В.* Основные методы нахождения устойчивых приближенных решений систем линейных алгебраических уравнений, возникающих при решении задач гравиметрии и магнитометрии. II М.: ОИФЗ РАН, 1999. 51 с.

ГРАВИМЕТРИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ПОТЕНЦИАЛЬНО-ОПАСНЫХ УЧАСТКОВ ВЕРХНЕКАМСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ КАЛИЙНЫХ СОЛЕЙ

Геологическая модель гравиметрического мониторинга карстового процесса представляет собой изолированную область, где произошли изменения плотности пород, в однородной геологической среде. В статье рассмотрены основные факторы вызывающие гравиметрические аномалии, показана эффективность использования гравиметрической съемки с целью оконтуривания и изучения опасных зон.

Ключевые слова: опасные зоны, гравиметрический мониторинг, Верхнекамское месторождение калийных солей

S. G. Bychkov^{1,2}, A.V. Michurin¹, A.A. Simanov¹

¹Mining Institute of the UB RAS, Perm, bsg@mi-perm.ru

²Perm State University, bsg@mi-perm.ru

GRAVITY MONITORING OF DANGEROUS AREAS OF THE VERKHNEKAMSKOYE POTASH DEPOSIT

A geological model of gravimetric monitoring was created, which is a homogeneous geological environment with an isolated area in which changes in rock density occurred. The possible values of gravitational effects are determined depending on the depth of the decompaction zone and its dimensions. The main noise-producing factors of gravimetric monitoring are considered. A technique for processing and interpreting dynamic gravity anomalies is developed, based on the synthesis of qualitative and quantitative methods of extracting geological information from gravimetric data. The result of the interpretation is the area of propagation and the likely interval of rock decomposition depths. Practical implementation of the technique of high-precision monitoring gravimetric observations in emergency areas of the Verkhnekamskoye deposit of potassium salts has shown its high efficiency.

Key words: dangerous areas, gravity monitoring, Verkhnekamskoye potash deposit

Длительные техногенные нагрузки, связанные с эксплуатацией месторождений полезных ископаемых, являются мощным воздействием на природную геологическую среду. Откликом на эти воздействия могут быть масштабные изменения, ведущие к катастрофическим последствиям – просадкам и провалам земной поверхности, угрожающие жизнедеятельности и приносящие значительные экономические потери (Барях и др., 2013).

Для изучения и прогнозирования негативных инженерно-геологических явлений широко используются геофизические методы, немаловажную роль в комплексе которых играют гравиметрические исследования (Новоселицкий и др., 2008; Бычков и др., 2016; 2017; 2018, 2019). Об актуальности задачи выявления техногенного воздействия на геологическую среду говорят факты ката-

строфических аварий последних лет с затоплением рудников Верхнекамского месторождения калийных солей (ВКМКС). Месторождение, расположенное в пределах Пермского края, является единственной сырьевой базой калийной промышленности России. Благодаря масштабам месторождения и его практическому значению, изучению геологического строения всегда уделялось большое внимание.

Мониторинговые наблюдения поля силы тяжести выявляют динамику процессов деформации породных масс и позволяют осуществить прогноз опасных и катастрофических ситуаций. По результатам повторных наблюдений рассчитывается динамическая аномалия силы тяжести, определяемая как разность между последующими (Δg_{i+1}) и предыдущими (Δg_i) значениями силы тяжести: $\Delta g_{\text{дин.}} = \Delta g_{i+1} - \Delta g_i$. Особенностью подобных аномалий является их независимость от влияния рельефа земной поверхности, стационарных (неизменных) плотностных неоднородностей в массиве, обусловленных геологическим строением. Поскольку все неизменные составляющие гравитационного поля в равной степени присутствуют в любой паре наблюдений, динамическая аномалия отражает только конкретный горнотехнический или быстротекущий геологический процесс, такой, как, например, образование и развитие карстовых полостей.

Мониторинговые гравиметрические исследования широко применяются при исследованиях вулканической деятельности и в гидрогеологии (Biegert at al., 2008). Весьма эффективно применение гравиметрических данных для изучения карстовых явлений (Rybakov at al., 2001; Eppelbaum at al., 2008). Большой объем повторных наблюдений проводится на месторождениях нефти и газа, где гравиметрические данные используются для определения изменений пластового давления и оценки подъема нефте- и газо-водяного контакта (Андреев и др., 2012), а также для контроля закачки в пласт CO_2 с целью увеличения нефтеотдачи месторождений (Gasperikova, Hoversten, 2008). Исследования оседаний земной поверхности и развития подземных полостей по гравиметрическим данным над соляными шахтами осуществляется в Великобритании (Davis at al., 2008) и Украине (Багрий и др., 2016; Дубовенко, Черная, 2011).

Геологическая модель гравиметрического мониторинга карстового процесса представляет собой изолированную область, где произошли изменения плотности пород, в однородной геологической среде (рис. 1а). Экстремальные величины гравитационных эффектов в зависимости от глубины зоны разуплотнения (H) и ее размеров (R) приведены изолиниями на (рис. 1б), оцифрованными в миллигалах. Следует отметить, что данные эффекты вычислены при изменении плотности геологического объекта на 0.01 г/см^3 , которая очень мала и находится в пределах точности денситометрии. Учитывая, что современная гравиметрическая и геодезическая аппаратура позволяет зафиксировать аномалии силы тяжести с точностью $\pm 0.005 - 0.007 \text{ мГал}$, по гравиметрическим данным можно определить начало процесса разуплотнения пород, выявляя зоны последующих возможных оседаний и провалов земной поверхности.

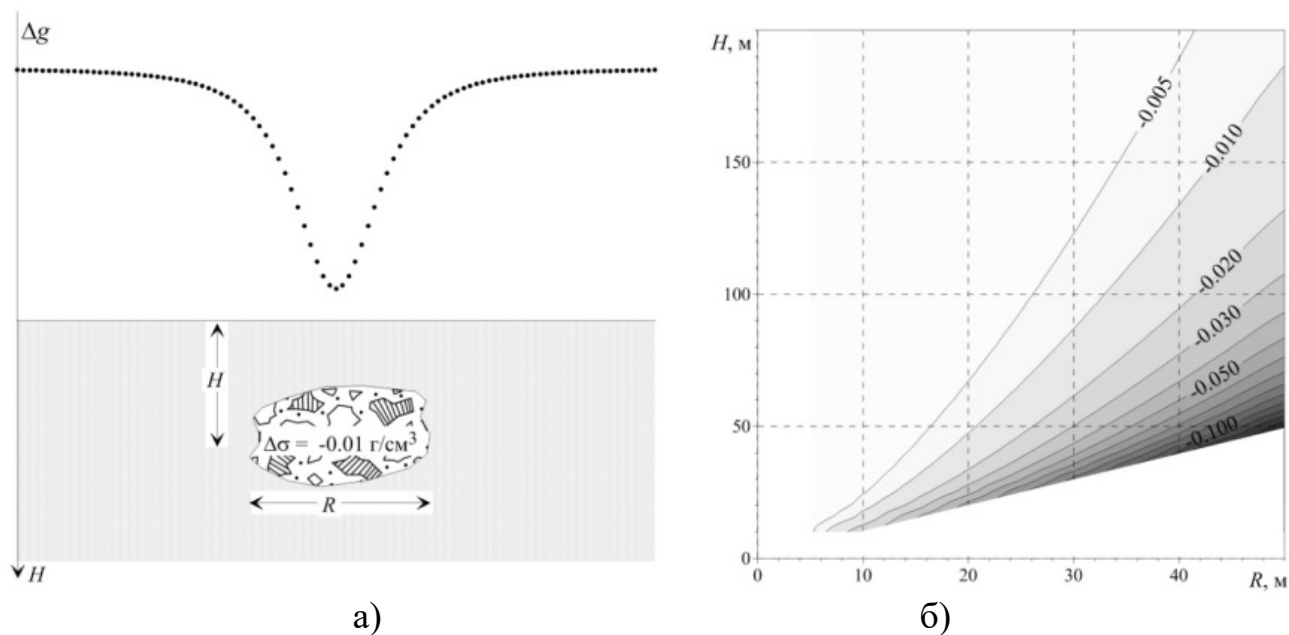


Рис. 1. Геологическая модель гравиметрического мониторинга (а) и гравитационные эффекты модели (б)

Основными помехообразующими факторами при проведении гравиметрического мониторинга являются изменения высоты пункта наблюдения, толщины и плотности снежного покрова, вариации атмосферного давления, сезонные изменения степени водонасыщенности и промерзания грунта верхней части разреза, уровень грунтовых вод вблизи пункта наблюдения и некоторые другие (Андреев и др., 2012). Внешние факторы, влияющие на изменение гравитационного поля, включая лунно-солнечные вариации, изменения локальных форм рельефа вблизи пункта наблюдения (техногенные отвалы, каналы и пр.), вариации атмосферного давления, могут быть учтены при обработке данных (Erpelbaum et al., 2008). Сложнее учесть эндогенные факторы, прежде всего уровень подземных вод, который, как показывают исследования (Костицын, 2016), существенным образом изменяет гравитационное поле. Очевидно, что для каждого участка гравиметрических работ зависимость между колебаниями уровня грунтовых вод и изменениями силы тяжести будет различной, поэтому необходимо в процессе мониторинговых работ проводить гравиметрические наблюдения на имеющихся гидрогеологических скважинах, отслеживая уровень грунтовых вод и выявляя зависимости между колебаниями уровня и изменениями силы тяжести.

Интерпретация динамических аномалий силы тяжести осуществляется на основе совместного применения качественных и количественных методов извлечения геологической информации из гравиметрических данных (Bychkov et al., 2013; Бычков и др., 2015). На начальной стадии интерпретационного процесса используется система VECTOR (Простолупов и др., 2006), с помощью которой строится изображение геологической среды – пространственное распределение квазиплотности, отражающее некоторые элементы физико-геологической модели (рис. 2 а). Параметр квазиплотности не имеет размерности физического параметра плотности, а шкала глубин построенных разрезов и 3D-диаграмм не

отвечает истинной. Однако результаты векторного сканирования успешно используются для уточнения геологических гипотез и задания априорных ограничений при последующем решении обратной задачи.

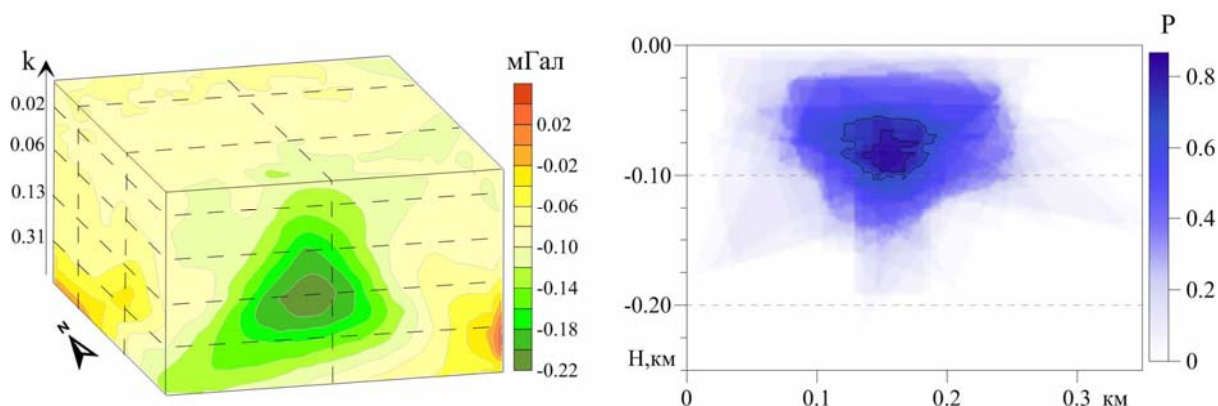


Рис. 2. Выделение локальной динамической аномалии силы тяжести в системе VECTOR (а) и результат решения нелинейной обратной задачи (б)

Решение обратных задач предлагается осуществлять монтажным методом с использованием гарантированного подхода к оценке качества решения обратной задачи и с построением функции локализации источников поля (Мичурин и др., 2014). Модель среды, используемая при этом методе решения задачи (изолированный объект в однородной среде), полностью удовлетворяет геологической модели гравиметрического мониторинга, поскольку влияние неизменных плотностных неоднородностей в массиве, обусловленных геологическим строением, отсутствует в динамических аномалиях силы тяжести. Результатом количественной интерпретации динамических аномалий является вероятный интервал глубин изменения массы (объема) горных пород, произошедший между двумя парами измерений поля (рис. 2 б).

В 2006 году проникновение подземных вод в шахты Первого Березниковского рудника привело к его затоплению и последующим провалам земной поверхности на территории г. Березники (Пермский край). В районе провалов проведены детальные мониторинговые гравиметрические съемки с целью оконтуривания и изучения опасных зон, выяснения их природы, глубины распространения разуплотненных пород, а также выявления потенциально опасных участков на прилегающих территориях.

В сентябре 2011 г. в зоне повышенных оседаний земной поверхности к северу от провала проведены повторные гравиметрические измерения, по результатам которых выявлена динамическая аномалия силы тяжести (рис. 2 а), свидетельствующая о процессе разуплотнения пород, начавшегося после февраля 2011 г. На 3D диаграмме поля, полученной в системе Vector (рис. 2 б), видно, что с увеличением коэффициента трансформации зона разуплотнения смещается на юг в сторону первого провала. Количественный анализ вариаций гравитационного поля во времени показал, что источник динамической аномалии, характеризующейся функцией локализации, расположен на глубинах 20-40 м (рис. 2 в) и приурочен к водозащитной надсоляной толще.

На одном из потенциально опасных участков на территории г. Березники в 2016-2018 гг. выполнено шесть циклов мониторинговых гравиметрических работ. Здесь создано 102 гравиметрических пункта (Бычков и др., 2018; 2019), на которых выполнены гравиметрические наблюдения в сентябре, октябре и декабре 2016 г., в июле и сентябре 2017 г. и в ноябре 2018 г. Измерения выполнялись на закрепленных металлических знаках (дюбелях забитых в асфальт) гравиметрами AUTOGRAV CG-5. Планово-высотная привязка пунктов гравиметрической съемки осуществлена с использованием GNSS-приемника Trimble R-8. Точность определения гравитационного поля составляла ± 0.005 - 0.010 мГал, высот пунктов – ± 0.01 - 0.02 м. Наблюдения выполнялись относительно исходного гравиметрического пункта, расположенного вне зоны влияния инженерно-геологических, горнотехнических и геодинамических процессов.

По результатам мониторинговых наблюдений в 2016-2017 гг. выявлена отрицательная динамическая аномалия, которая может быть связана с процессами разуплотнения пород и возможными местами оседаний земной поверхности (рис. 3). По результатам количественной интерпретации выделенной аномалии размер зоны разуплотнения может достигать более 200 м в плане и мощности 20-40 м, плотность пород уменьшилась на 0.10 г/см^3 .

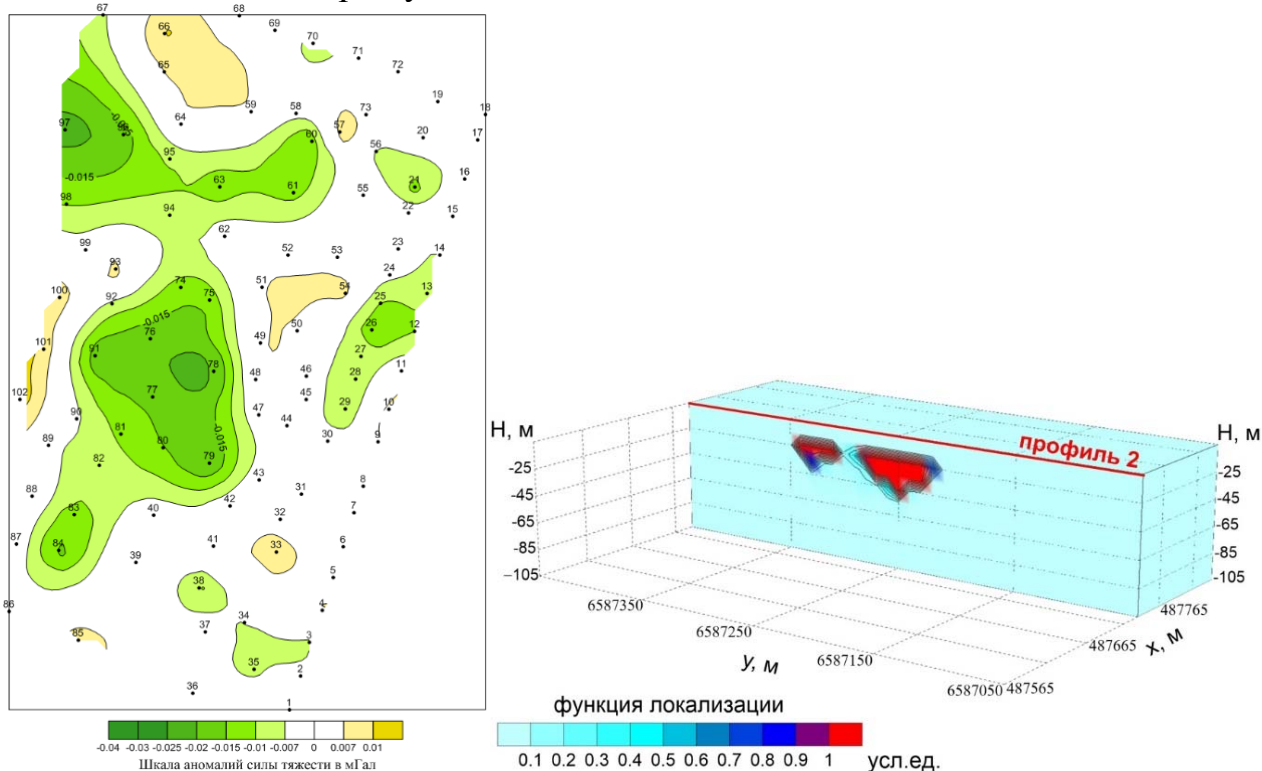


Рис. 3. Результаты гравиметрического мониторинга: а) карта динамических аномалий (сентябрь – декабрь 2016 г.); б) вертикальное сечение функции локализации источников аномалий

Дальнейшие гравиметрические наблюдения показали, что амплитуда и размеры динамической аномалии существенным образом меняются в различных циклах мониторинга, при этом происходит неравномерные оседания земной поверхности (рис. 4). Участки повышенных оседаний земной поверхности сопровождаются уменьшением величины динамической аномалии, что объяс-

няется компенсацией значений аномалий уменьшением высот пунктов и увеличением плотности пород.

На рис. 4 представлены результаты трехлетних наблюдений на данном участке. Как видно из рисунка, отрицательные динамические аномалии за период 2017-2016 гг. наблюдаются в западной части площади (рис. 4 а), здесь же происходят оседания земной поверхности (рис. 4 с), которые продолжаются и в 2018 г. (рис. 4 д). В 2018 г. зона разуплотнения, с которой связаны отрицательные динамические аномалии, сместилась на восток площади (рис. 4 б). Это может свидетельствовать о расширении зоны разуплотнения и последующих просадках земной поверхности.

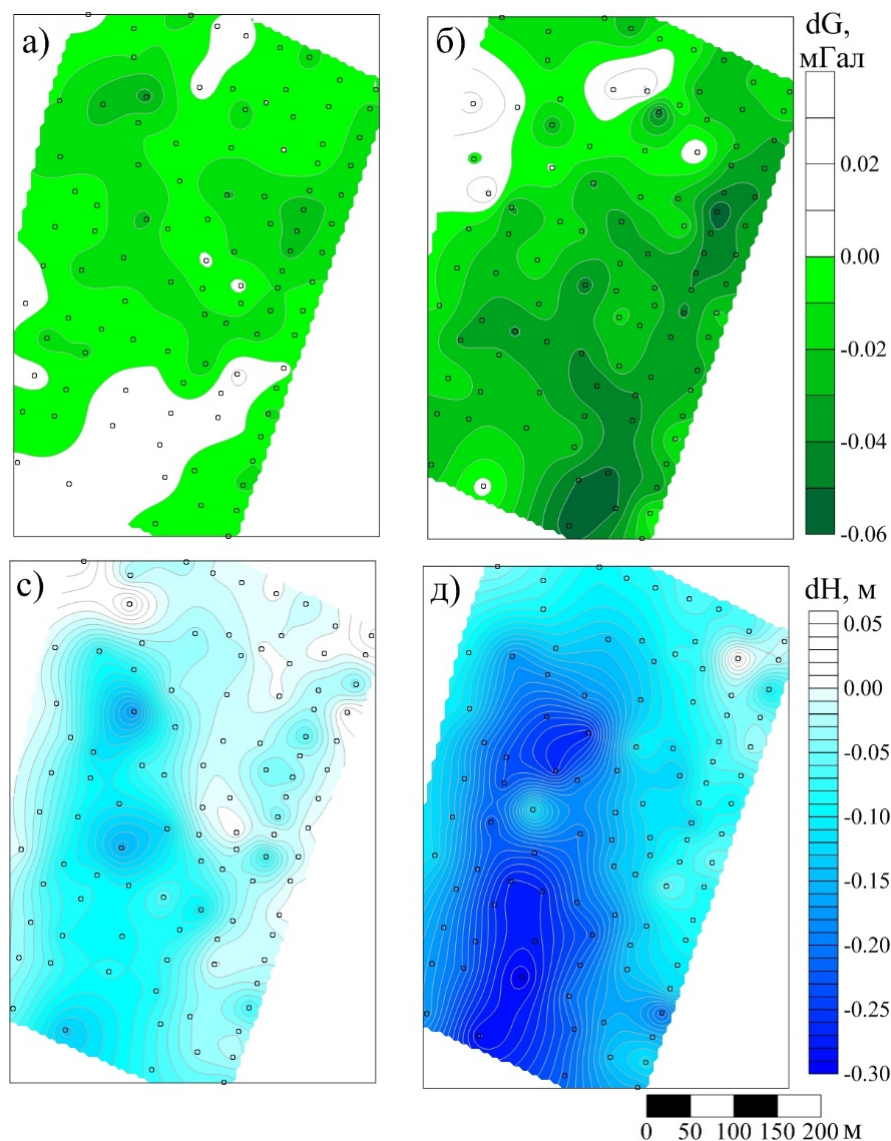


Рис. 4. Динамические аномалии силы тяжести за период 2017-2016 гг. (а), 2018-2016 гг. (б) и оседания земной поверхности за эти же периоды (с, д)

Таким образом, гравиметрические исследования на Верхнекамском месторождении вносят определенный вклад в изучение картины плотностной неоднородности верхней части разреза, в обеспечение безопасности и жизнедеятельности. Изменения плотности пород в горном массиве, происходящие под

влиянием горно-геологических условий, отчетливо фиксируются в гравитационном поле. Разрабатываемая технология проведения и интерпретации мониторинговых гравиметрических наблюдений позволяет перейти на новый качественный уровень получения информации о распределении и развитии во времени плотностных неоднородностей геологического разреза, что существенно повышает безопасность проведения горных работ. Гравиметрия должна применяться как опережающий метод, позволяющий на предварительном этапе уточнить геолого-тектоническую обстановку в пределах шахтных полей, выделить зоны повышенного риска.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект 17-45-590302 p_a).

Библиографический список:

1. Андреев О.П., Кобылкин Д.Н., Ахмедсафин С.К., Кирсанов С.А., Безматерных Е.Ф., Кривицкий Г.Е. Гравиметрический контроль разработки газовых и газоконденсатных месторождений. Состояние, проблемы, перспективы. М, ООО Издательский дом Недра. 2012
2. Багрий С.М., Кузьменко Е.Д., Анікеєв С.Г. Оцінка ступеня просідання земної поверхні на шахтних полях Калуського гірничо-промислового району за даними високоточної гравіметрії // Научные труды SWorld. 2016. № 1 (42). С. 40–48.
3. Барях А.А., Санфиров И.А., Дягилев Р.А. Мониторинг последствий затопления калийного рудника // Горный журнал. 2013. № 6. С. 34–39.
4. Бычков С.Г., Долгаль А.С., Костицын В.И., Мичурин А.В., Симанов А.А. Построение объемных моделей геологических объектов по гравитационному полю на основе синтеза качественных и количественных методов интерпретации // Геофизика, 2015, №5. С. 47–54.
5. Бычков С.Г., Простолупов Г.В., Симанов А.А., Щербинина Г.П. Гравиметрические исследования аварийных участков рудников Верхнекамского месторождения калийных солей // Геология и полезные ископаемые Западного Урала: сб. ст. юбилейной конф., посвящ. 100-летию Перм. ун-та и 85-летию геол.ф-та. ПГНИУ, Пермь, 2016. С. 124–127.
6. Бычков С.Г., Мичурин А.В., Симанов А.А. Гравиметрический мониторинг рудников Верхнекамского месторождения калийных солей // Геофизика. 2017. №5. С. 10–16.
7. Бычков С.Г., Мичурин А.В., Симанов А.А. Гравиметрический мониторинг аварийных участков рудников Верхнекамского месторождения калийных солей // Геология и полезные ископаемые Западного Урала: сборник статей по материалам Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Пермь, ПГНИУ, 2017. С. 132–137.
8. Бычков С.Г., Мичурин А.В., Симанов А.А. Результаты гравиметрического мониторинга аварийных участков рудников Верхнекамского месторождения калийных солей // Вопросы теории и практики геологической интерпретации геофизических полей. Казань: Казанский университет, 2018. С. 130-131.
9. Бычков С.Г., Мичурин А.В., Симанов А.А. Интерпретация результатов гравиметрического мониторинга на аварийных участках рудников Верхнекамского месторождения калийных солей // Вопросы теории и практики геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей: Сборник научных трудов. Вып. 1 (46). Пермь: ГИ УрО РАН, ПГНИУ, 2019. С. 59-63.
10. Дубовенко Ю.И., Черная О.А. Об особенностях 4D гравитационного мониторинга геологической среды // Геофизический журнал. 2011. Т. 33, № 3. С. 161–168.

11. Костицын В.И. О корреляционной зависимости между колебаниями уровня грунтовых вод и изменениями силы тяжести // Геодезия, картография, кадастр, ГИС – проблемы и перспективы развития. Новополоцк: Полоцкий гос. ун-т, 2016. С. 9–30.
12. Мичурин А.В., Пугин А.В., Симанов А.А. Возможности гарантированного подхода при решении трехмерных обратных задач гравиразведки // Геоинформатика, 2014, № 1. с. 42-50.
13. Новоселицкий В.М., Бычков С.Г., Щербинина Г.П., Простолупов Г.В., Яковлев С.И. Гравиметрические исследования изменений плотностной характеристики геологической среды под воздействием горных работ // Горный журнал, 2008, № 10. С. 37–41.
14. Простолупов Г.В., Новоселицкий В.М., Конешов В.Н., Щербинина Г.П. Об интерпретации гравитационного и магнитного полей на основе трансформации горизонтальных градиентов в системе «VECTOR» // Физика Земли. 2006. № 6. С. 90–96.
15. Biegert E., Ferguson J., Li X. 4D gravity monitoring - Introduction // Geophysics. 2008. Vol. 73, No. 6. P. WA1–WA2.
16. Bychkov S.G., Dolgal A.S., Simanov A.A. Synthesis of qualitative and quantitative methods of extraction of geological information out of gravimetric data // Eurasian mining. 2013. № 2. P. 12–15.
17. Davis K., Li Y., Batzle M. Time-lapse gravity monitoring: A systematic 4D approach with application to aquifer storage and recovery // Geophysics. 2008. Vol. 73, No. 6. P. WA61-WA69.
18. Eppelbaum L.V., Ezersky M.G., Al-Zoubi A.S., Goldshmidt V.I. Legchenko A. Study of the factors affecting the karst volume assessment in the Dead Sea sinkhole problem using microgravity field analysis and 3D modeling // Advances in GeoSciences. 2008. №19. P. 97–115.
19. Gasperikova E., Hoversten G. M. Gravity monitoring of CO₂ movement during sequestration: Model studies // Geophysics. 2008. Vol. 73. No. 6. P. WA105-WA112.
20. Kennedy J., Ferre T.P., Guntner A., Abe M., Creutzfeldt B. Direct measurement of subsurface mass change using the variable baseline gravity gradient method // Geophysical Research Letters. 2014. 41. P. 2827-2834.
21. Rybakov M., Goldshmidt V., Fleischer L., Rotstein Y. Cave detection and 4-D monitoring: a microgravity case history near the Dead Sea // The Leading Edge. 2001. V. 20. №8. P. 896–900.

В.А. Гершанок, В.И. Костицын
ПГНИУ, geophysic@psu.ru

ЯДЕРНАЯ ГЕОФИЗИКА И АТОМНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

На основе изучения свойств пород, вскрытых в сверхглубоких скважинах, проанализированы основные факторы развития природных резервуаров. Установлено, что решающая роль в формировании глубокопогруженных резервуаров принадлежит глубинным постседиментационным процессам, усиление которых обусловлено тектоническими факторами, флюидоразрывами, статическими и динамическими напряжениями. Предложен вариант классификации глубокопогруженных природных резервуаров.

Ключевые слова: сверхглубокая скважина, резервуар, глубина, коллектор, вторичные преобразования, факторы, трещиноватость, классификация.

NUCLEAR GEOPHYSICS AND NUCLEAR ENERGETICS

Based on studied properties of rocks in the superdeep boreholes, major factors favoring formation and development of natural reservoirs are analyzed. Analysis has shown that formation of deep-scated rock reservoirs is strongly related to deep possedimentary processes whose intensification is governed by tectonic factors, fluid fracturing, static and dynamic stresses are considered. The classification for the natural reservoirs of the deep-lying complexes is proposed.

Key words: superdeep borehole, reservoir, depth, collector, secondary transformation, factors, fracturing, classification.

Методы ядерной геофизики, включающие радиометрические и ядерно-геофизические, используются для решения широкого спектра технических и хозяйственных задач. Эти методы являются основными при поисках радиоактивных руд, геофизических исследованиях скважин, изучении радиационного состояния территорий. Причем регистрируется не только интегральная интенсивность радиоактивных излучений, но и интенсивность на отдельных линиях спектра, что позволяет определять природу излучений и проводить поэлементный анализ горных пород.

В утвержденном 7 июля 2011 г. указе Президента Российской Федерации № 899 «Приоритетные направления развития науки, технологии и техники в РФ» ядерная, т.е. атомная энергетика названа одним из приоритетных направлений развития. Эффективность ядерных источников энергии наглядно иллюстрирует табл. 1.

Таблица 1. Предполагаемая энергия, которая может быть получена от разных видов источников (по К.А. Гладкову)

Невозобновляемые источники			Возобновляемые источники	
Источник	Запасы, млрд. т	Получаемая энергия от имеющихся запасов, 10^{22} Дж	Источник	Получаемая энергия за год, 10^{22} Дж
Уголь	10660	31,0	Солнечное излучение	540
Нефть	120	0,35	Морские приливы	25,18
Природный газ	60	0,18	Ветер	6,24
Торф	560	1,64	Тепло Земли	0,104
Растительное топливо	600	1,73	Энергия рек	0,012
Уран и торий	6500	189	—	—

Однако отношение к атомной энергетике у населения далеко неоднозначное. Часто бытует мнение, что наиболее существенное загрязнение среды происходит при эксплуатации атомных электростанций, якобы создающих существен-

ную радиационную опасность. Ошибочность мнения станет понятной, если сравнить работу таких станций и тепловых.

В нормальном режиме работы один блок АЭС средней мощности выбрасывает в окружающую среду около 0,2 мКи/год радиоактивных отходов. С учетом того, что в мире работают 449 блоков, общий выброс АЭС составляет около 0,9 Ки/год. При надлежащем техническом обслуживании радиационное воздействие такого количества радионуклидов на окружающую среду не превышает 2–3 % от уровня местного радиационного фона.

В то же время в угольной золе тепловых электростанций содержатся повышенные концентрации основных естественных радиоактивных изотопов – калия (K^{40}), урана (U^{238}), радия (Ra^{226}), полония (Po^{210}), свинца (Pb^{210}), тория (Th^{232}) и некоторых других. Два из них (U^{238} и Th^{232}), являясь родоначальниками радиоактивных семейств, создают вместе с членами семейств не только γ -излучение, но также α - и β -излучения, кроме того, являются источниками образования радиоактивных газов – радона и торона.

Установлено (Уткин и др., 2000), что эти газы вместе со своими ближайшими продуктами распада, а именно: $RaA(Po^{218})$, $RaB(Pb^{214})$, $RaC(Bi^{214})$, $RaC'(Po^{214})$, $Po(Po^{210})$, $MsTh_2(Ac^{228})$, $ThB(Pb^{212})$, $ThC(Bi^{212})$, $ThC''(Tl^{208})$. создают суммарно более 50 % общего радиационного воздействия.

В табл. 2 приведены величины концентраций изотопа Th^{232} в различных горных породах, а также в угле и угольной золе (Пивоваров и др., 2004). Видим, что концентрация Th^{232} в угольной золе существенно больше, чем в любой горной породе, включая гранит.

Таблица 2. Концентрация Th^{232} в горных породах, угле и угольной золе

Горная порода	Концентрация Th^{232} , пКи/г
Гранит	2,2
Сланцы	1,2
Песчаник	0,3
Известняк	0,2
Уголь	0,3–2,0
Угольная зола	2,3–8,7

Необходимо отметить также, что при сжигании угля на тепловых электростанциях в атмосферу поступает радиоактивный углерод C^{14} с периодом полураспада 5560 лет. Все это приводит к тому, что радиационный фон в районах расположения угольных электростанций в 2–3 раза превышает фон, наблюдаемый в районах работы атомных станций. Последние не производят выбросов в атмосферу углекислого газа, не потребляют кислород и не нарушают естественный баланс этих газов в атмосфере.

Приведенные сравнения показывают, что экологически атомные электростанции являются гораздо более чистыми, чем станции, сжигающие для получения энергии уголь, торф, газ.

Вместе с тем следует отметить, что эксплуатация любых энергетических установок может приводить к авариям. По статистике, за пять лет в мире на АЭС случаются в среднем 4 аварии. Такие аварии представляются наиболее опасными по сравнению с другими видами техногенных катастроф. Они имеют отдаленные последствия, связанные с радиоактивным загрязнением местности. Длительность радиоактивного загрязнения зависит от периодов полураспада образовавшихся при аварии изотопов. Характеристика основных радионуклидов, образующихся при радиационных авариях, приведена в табл. 3.

Таблица 3. «Аварийные» радионуклиды (по Н.А. Комарову)

Радионуклид	Период полураспада	Типичное излучение и его энергия, кэВ
Цезий Cs^{137}	30 лет	E_{γ} - 662 E_{β} - 511
Стронций Sr^{90+} +иттрий Y^{90}	29 лет (2.7 дня)	E_{β} - 546 (2300)
Цезий Cs^{134}	2 года	E_{β} - 975 E_{γ} - 605; 795
Церий Ce^{144+} +празеодим Pr^{144}	284 дня (17 мин)	E_{β} - 310 (3000)
Рутений Ru^{106+} +родий Rh^{106}	1год (30 с)	E_{γ} - 511; 621 E_{β} - 3540
Иод I^{131}	8 дней	E_{γ} - 365 E_{β} - 600
Цирконий Zr^{95+} +ниобий Nb^{95}	64 дня, (35 дней)	E_{γ} - 724; 750 E_{β} - 400 (E_{γ} - 765; E_{β} - 160)
Плутоний Pu^{238} , Pu^{239}	87, 24000 лет	α

Количество того или иного изотопа уменьшается со временем согласно основного закона распада, который характеризует формула

$$I = I_0 \cdot e^{-t \cdot 0,693/T}, (1)$$

где I – количество радионуклида на момент времени t , I_0 – его начальное количество, T – период полураспада.

Полный распад изотопа произойдет за время, равное $10 T$. Исходя из этого, данные, приведенные в табл. 3, позволяют оценить радиоактивное загрязнение местности отдельными изотопами спустя определенное время, прошедшее после аварии.

Основными долгоживущими техногенными изотопами, накапливающимися в окружающей среде, являются Cs^{137} и Sr^{90} . Однако скорость их распада все же меньше, чем скорость поступления новых количеств, что в начальные моменты времени приводит к постепенному накоплению этих изотопов. Время максимального накопления можно определить по формуле (Гершанок и др., 2018)

$$t_{\max} = \frac{1}{\lambda_1 - \lambda_2} \ln \frac{T_1}{T_2}, \quad (2)$$

где T_1 – период полураспада изотопа, T_2 – период поступления половинного количества изотопа. После достижения максимального количества оно в дальнейшем будет только уменьшаться.

Что касается самых долгоживущих «аварийных» изотопов Pu^{238} и Pu^{239} , то их поступление в среду на несколько порядков меньше, чем Cs^{137} и Sr^{90} . Учитывая их малую активность, в общем балансе изотопов, представляющих наибольшую опасность, ими можно пренебречь.

После аварии на «Фукусима-1» ряд стран заявили о пересмотре своих планов по строительству новых АЭС. Однако спустя короткое время эмоции отошли на второй план и стало ясно, что ядерной энергетике трудно найти адекватную замену, т.к. потребление энергии в мире растет гораздо быстрее ее производства. Отказ от нее в пользу тепловых электростанций существенно поднимет цены на электричество, ухудшит экологическую обстановку, усилит энергетическую зависимость стран от ископаемого органического топлива и нанесет урон безопасности. Поэтому большинство стран Европы, Япония, США, Китай, Индия, Иран, страны Юго-Восточной Азии продолжают наращивать атомную энергетику и возобновляют работу остановленных ядерных блоков, успешно прошедших проверку безопасности.

Вместе с тем следует отметить, что в мире сохраняется отрицательное мнение о целесообразности развития атомной энергетики в связи с опасностью возможных аварий на АЭС. Так, Италия стала единственной страной в мире, закрывшей свои АЭС и полностью отказавшейся от атомной энергетики. Некоторые страны (Бельгия, Испания, Германия, Швейцария) осуществляют долгосрочную политику отказа от атомной энергетики, другие (Азербайджан, Грузия, Литва, Казахстан) отказываются от нее по политическим, экономическим, техническим или иным причинам.

Согласно базе данных МАГАТЭ «PRIS» о текущем состоянии мировой ядерной энергетики по состоянию на 2016 г. было 449 энергоблоков, мощность которых составляла 391770 МВт и еще 60 реакторов находились в стадии строительства. Атомная энергетика в настоящее время стала традиционной отраслью энергетики, АЭС вырабатывают электроэнергию в 31 стране мира.

По количеству атомных электростанций лидирующее положение занимают США, страны Европы, а также Япония, Китай и др. В 13 странах доля электро-

энергии, вырабатываемой на атомных станциях, превышает 30 %, а во Франции достигает наибольшей цифры – 77 %.

Самую масштабную программу строительства новых АЭС осуществляет Китай. Значительные программы имеют также Индия, Россия, Южная Корея. На их долю приходится порядка 60 % всех строящихся АЭС.

В табл. 4 приведена информация о количестве работающих энергоблоков и их общей мощности в МВт по первым 10 странам по состоянию на 2016 г. От 5 до 10 энергоблоков эксплуатируется в Швеции, Германии, Испании, Бельгии, Чехии, Швейцарии, на Тайване; по 4 блока – в Финляндии, Венгрии, Словакии; по 3 блока – в Аргентине, Пакистане; по 2 блока – в Аргентине, Бразилии, Болгарии, Мексике, Румынии, Южной Африке; по 1 блоку – в Армении, Иране, Нидерландах, Словении.

Наиболее мощной в мире АЭС является «Kashiwazaki Kariva» (Япония) мощностью 8200 МВт. Крупнейшей станцией в Америке является канадская АЭС «Брюс» (Bruce Nuclear Generation Station) мощностью 6797 МВт. Самой мощной станцией в Европе – Запорожская АЭС мощностью 6000 МВт (6 блоков по 1000 МВт), построенная в советское время на Украине. В России на 10 АЭС эксплуатируются 36 энергоблоков.

Наличие атомных электростанций и состояние атомной энергетики точно также как и наличие углеводородного сырья, существенным образом сказывается на экономическом, а вместе с тем политическом и военном могуществе стран. Особое значение атомная энергетика приобретает в условиях недостаточности органических или других энергетических источников.

Таблица 4. Количество энергоблоков на АЭС и их общая мощность, МВт

№ п/п		Страна	Количество		Общая мощ- ность
			Блоков	АЭС	
1		США	99	60	99868
2		Франция	58	19	63130
3		Япония	43	17	40290
4		Китай	36	13	31402
5		Россия	36	10	23643
6		Ю. Корея	25	6	23133
7		Индия	22	7	6225
8		Канада	19	4	13538
9		Англия	15	7	8918
10		Украина	15	4	13107
		В мире	449	191	391770

Подводя итог сказанному, перечислим основные достоинства и преимущества атомной энергетики перед другими видами получения энергии, а также назовем ее очевидные недостатки.

К преимуществам АЭС следует отнести следующие факторы:

- атомные станции практически не производят выброс в атмосферу отработанных твердых отходов и газов, а выброс радиоактивных элементов настолько мал, что уровень местного радиационного фона практически не повышается. Города в зонах АЭС во всем мире считаются самыми экологически чистыми;
- использование ядерного топлива не сопровождается процессом горения, поэтому АЭС не потребляют кислород, не выделяют углекислый газ и не изменяют состав атмосферы, что особенно важно при работе в замкнутом пространстве (в частности, на подводных лодках);
- атомная энергетика не создает парниковый эффект и тем самым не способствует глобальному потеплению;
- высокая рентабельность и относительно низкая себестоимость вырабатываемой электроэнергии;
- компактность топлива, минимальные удельные расходы при его транспортировке, возможность доставки в труднодоступные и отдаленные районы;
- высокая автономность работы атомных двигателей и возможность их использования на подводных лодках, ледоколах, удаленных местах работы человека (долгосрочные экспедиции, метеостанции и т.д.). В настоящее время ведутся работы по созданию подземных, плавучих АЭС, ядерных двигателей для космических станций;
- гарантия стабильности и независимости от органического топлива;
- возможность повторного использования топлива за счет его регенерации;
- с развитием технологии реакторов на быстрых нейтронах возможен переход на замкнутый топливный цикл, что позволит практически полностью отказаться от отходов;
- практическая неисчерпаемость запасов радиоактивных руд при современном уровне их потребления.

Как и любые источники энергии, АЭС имеют свои недостатки, которые стали особенно заметными после крупных аварий. К основным недостаткам следует отнести:

- серьезные, а иногда катастрофические последствия при авариях;
- даже при работе в нормальном режиме АЭС производят радиоактивные отходы, которые требуют экологически безопасного захоронения;
- в воду, используемую для охлаждения реакторов, могут попасть радиоактивные элементы;
- высокое тепловое воздействие на окружающую среду (при определенных условиях этот недостаток может стать значительным достоинством атомных станций);
- настороженное отношение некоторой части населения к работе АЭС.

Самыми безопасными АЭС считаются станции, использующие водо-водяные реакторы (ВВР) 3^+ , которые называют «постфукусимскими». Такие станции имеют ловушки расплава, возникающего при авариях, которые надежно предохраняют от выброса радиации.

Перспективы и интенсивность развития атомной энергетики в мире будут различны для отдельных регионов и стран, исходя из потребностей в электроэнергии, наличия или отсутствия органического топлива или иных энергетических источников, степени экономического развития, экологической грамотности населения.

Очевидно, что полемика о достоинствах и недостатках тех или иных источников энергии будет вестись еще не одно десятилетие. Несомненно одно – будущее принадлежит ядерным и возобновляемым источникам получения энергии, таким как Солнце, морские приливы, реки, ветер, внутреннее тепло Земли. Ограниченное использование в настоящее время возобновляемых источников объясняется целым рядом нерешенных технических проблем. Однако успешные разработки последних лет позволяют надеяться, что широкое промышленное использование таких источников энергии следует ожидать уже в ближайшее десятилетие.

В долгосрочной перспективе ядерные, а также возобновляемые источники будут единственными реальными источниками обеспечения человечества электроэнергией. Со временем они продолжат постепенно вытеснять углеводородное топливо, сохраняя его как ценное химическое сырье.

Библиографический список:

1. *Гершанок В.А., Гершанок Л.А.* Разведочная геофизика. Радиометрия и ядерная геофизика: учебник. Пермь: Перм. гос. нац. исслед. ун-т., 2018. 303 с.
2. *Пивоваров Ю.П., Михалев В.П.* Радиационная экология: учеб. пособие. М.: Изд. Центр «Академия», 2004. 240 с.
3. *Уткин В.И. и др.* Радиоактивные беды Урала. Екатеринбург: УрО РАН, 2000. 94 с.

Б.А. Спасский
ПГНИУ, г. Пермь

УЧЕТ ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ РАЗРЕЗА В СЕЙСМОРАЗВЕДКЕ

При формировании скоростной модели верхней части разреза (ВЧР) в сейсморазведке возможно использовать времена первых вступлений, имеющиеся на полевых сейсмограммах. Для этого проводится анализ влияния различных факторов на точность решения обратной задачи при использовании преломленных волн.

Ключевые слова: сейсморазведка МОВ, верхняя часть разреза ВЧР, преломленные волны, факторы влияющие на точность решения обратной задачи МПВ.

ACCOUNTING THE TOP OF THE CUT IN SEISMIC EXPLORATION

In the formation of the velocity model of WZ in seismic used by the upper part of the section times the first arrivals. It is shown the factors of influence on the precision results in interpretation of refracted waves.

Key words: seismic prospection, velocity model of WZ, first arrivals, refracted waves.

Сейсморазведка методом отраженных (МОВ) и преломленных волн (МПВ) с самого начала своего использования для решения геологических задач показала себя прежде всего как структурный метод, который дает хорошие результаты при прослеживании геологических (акустически жестких) горизонтов даже на площадях со сложным геологическим строением. Основные погрешности расчета глубин на территориях, изучаемых сейсморазведкой, обычно связаны со сложным рельефом поверхности наблюдения и изменчивым скоростным строением пород, особенно верхней части разреза (ВЧР).

Под ВЧР в сейсморазведке чаще всего понимается толща пород мощностью 200–300 м, располагающаяся между поверхностью наблюдения и уровнем приведения (обычно горизонтального), совпадающего с абсолютной отметкой плоскости, от которой производится построение карт глубин сейсмических горизонтов (Бондарев и др., 2002, Боганик и др., 2006, Спасский, 2008). Такой диапазон отложений включает наиболее изменчивую по упругим свойствам часть геологического разреза. Считается, что уровень приведения отделяет ВЧР, где скорости меняются как по горизонтали, так и по вертикали, от зоны их стабилизации (ниже уровня приведения).

В простейшем случае при интерпретации предполагается, что в ВЧР сверху залегает наиболее изменчивая по скоростям толща – зона малых скоростей (ЗМС), толщины которой варьируют в пределах 25–50 м и ниже которой залегают коренные породы, характеризующиеся меньшей пространственной изменчивостью скоростей и плотностей.

В реальных условиях ЗМС часто представляет собой многослойную среду, скорости распространения упругих колебаний в которой претерпевают значительные вариации. При этом скорости могут увеличиваться с глубиной от пласта к пласту, могут в тонкослоистых моделях сред постепенно возрастать с глубиной (градиентные среды), или, на фоне возрастания, скорости могут уменьшаться в отдельных толщах пород. Недоучет этих явлений приводит к возникновению погрешностей определения времен регистрации полезных сигналов (отраженных или преломленных волн) на полевых записях, что ведет при проведении интерпретации к неточности расчета глубин при структурных построениях изучаемых сейсморазведкой горизонтов.

Объемы проводимых наблюдений МОВ в настоящее время в значительной степени превосходят объемы МПВ. И если данные МОВ широко используются при поисках углеводородов, то работы МПВ чаще проводятся при решении инженерных задач и изучают малые глубины.

Чтобы изучить и исключить влияние изменчивых свойств пород ВЧР и неровностей рельефа поверхности наблюдения на результаты сейсморазведки, при обработке и интерпретации данных рассчитывают статические поправки, которые затем вычитаются из времен регистрации полезных волн (отраженных или преломленных). Статические поправки – это времена пробега колебаний по вертикали от точек их возбуждения и приема до уровня приведения, ниже которого (как обычно считается) скорости уже стабилизируются и их вариации менее существенны. В этом случае под ВЧР понимают толщу пород, влияние которой исключается из времен регистрируемых колебаний вводом статических поправок (от поверхности наблюдения до уровня приведения).

Неточности в формировании скоростной модели ВЧР приводят к возникновению погрешностей расчетных статических поправок, которые выявляются и устраняются в процессе их последующей коррекции в процессе цифровой обработки данных.

Однако процедуры коррекции, существующие в настоящее время, в основном хорошо выявляют и устраняют лишь высокочастотную составляющую погрешностей расчетных статических поправок, протяженность аномалий которых по профилю не превышает 50-100 м (Ампилов, 2004, Спасский и др., 1985 и др.). Погрешности средне- и низкочастотные (протяженность которых соизмерима с протяженностью искомых объектов) обычно не выявляются при проведении процедур коррекции. А это ведет к неточным расчетам глубин отражающих горизонтов (вносит погрешности в структурную компоненту геометрии отражающих границ) и расхождению данных сейсморазведки и глубокого бурения.

Поэтому теоретически точность решения проблемы учета скоростной неоднородностей ВЧР определяется наличием опорных точек на площади работ, в которых имеется информация о распределении скоростей в разрезе ВЧР (в идеальном варианте – количеством имеющихся скважин с данными сейсмокаротажа (СК) до уровня приведения). Шаг между опорными точками должен составлять 0,5–0,7 длины расстановки точек регистрации (Спасский, 1994). Однако производство большого объема вспомогательных работ (сейсмокаротаж, работы методом преломленных волн (МПВ) или отраженных волн) необходимых для этого, не только экономически невыгодно в современных условиях, но и не всегда возможно.

Как показывают результаты моделирования, при «классической» обработке годографов МПВ разброс времен первых вступлений каждого канала, обусловленный «высокочастотными» (случайными) скоростными неоднородностями в зоне малых скоростей и рельефом поверхности наблюдения, устраняется аппроксимацией годографов прямыми линиями (Авербух, 1975, Горяинов и др., 1979). Это приводит (за счет неточной аппроксимации годографов) к возникновению погрешностей расчета скоростей по годографам преломленных волн и ошибок при определении времен t'_0 (используемых для расчета глубин преломляющих горизонтов).

Граничные скорости, определяемые по годографам МПВ, часто завышены относительно средних и эффективных скоростей, определяемых при скважин-

ных и наземных сейсмических наблюдениях МОВ. А времена регистрации первых волн на сейсмограммах МОВ ОГТ дополнительно могут быть искажены применением интерференционных систем (группированием пунктов приема и возбуждения на базах 20-30 м).

С другой стороны, преимуществом использования времен первых вступлений, определяемых на сейсмограммах МОВ (фактически годографов прямых и преломленных волн), является то, что они регистрируются одновременно с отраженными волнами (полезным сигналом), в тех же самых точках регистрации и возбуждения и единых погодных условиях, часто влияющих на результаты измерения скоростей в ЗМС. При использовании многократных систем наблюдений появляется возможность при обработке данных применять различные комбинации формирования сейсмограмм, чтобы подчеркнуть или исключить действие тех или иных факторов искажающих времена пробега первых (и отраженных) волн.

С учетом этих причин процесс интерпретации информации о временах прихода первых волн, регистрирующихся в первых вступлениях, должна начинаться с их обработки, в процессе которой необходимо по возможности ослабить влияние факторов, приводящих к возникновению погрешностей. Для того, чтобы упростить форму годографов первых вступлений (прежде всего, ослабления случайной компоненты времен регистрации первых волн, которые прослеживаются на сейсмограммах МОВ) было предложено интерпретацию проводить не по отдельным годографам, а использовать временные поля или «кубы» времен первых вступлений, сформированных по принципу постоянного удаления $L=const$ между пунктом возбуждения и приема колебаний (Спасский и др., 1985).

Для этого по сейсмограммам МОВ ОГТ проводится формирование по каждому профилю (площади) временных полей первых волн $t(X, L)$ по принципу постоянного удаления $L=const$, когда X – пикеты по профилю (Спасский, 1990, Митюнина и др., 2003, Спасский и др., 2012). Поле времен $t(X, L)$ в этом случае представляется несколькими линиями времен $t_{L=const}(X)$, которые характеризуют времена прихода волн на разных пикетах X при одинаковом удалении между пунктами возбуждения и пунктами приема. При наблюдениях 3D формируются кубы времен $t(X, Y, L)$, когда каждому удалению $L=const$ будет соответствовать его двумерное изображение $t_{L=const}(X, Y)$ (карта времен одного удаления).

Для этого по каждому профилю проводится формирование трасс (разрезов) на нескольких постоянных удалениях. С их использованием проводится корреляция волн по каждому профилю (разрезу) и формируются временные поля, которые затем осредняются (сглаживаются) на разных базах (с учетом соседних удалений). Использование различных компоновок временных полей по разным принципам (общего пункта приема, общего пункта возбуждения, общей глубинной точки) позволяет выявить и в некоторой степени исключить ряд мешающих факторов, приводящих к возникновению погрешностей определения расчетных скоростных моделей, необходимых для расчета статических поправок.

Построение карт времен постоянных удалений позволяет ранжировать территории по типу скоростных моделей. При этом материалы 3D сейсморазведки

МОВ позволяют дополнительно получить сведения о наличии скоростной анизотропии пород ВЧР в различных глубинных интервалах, часто связанной с характером развития вертикальной трещиноватости пород приповерхностных отложений (Спасский и др., 2012). При анализе скоростей часто отмечается отличие скоростей распространения волн вдоль и вкрест напластования слоев.

В дальнейшем, с учетом полученных результатов, большое внимание при интерпретации временных полей следует уделять выбору оптимальных способов решения обратных задач, позволяющих получить модели изменения скоростей с глубиной преломляющих горизонтов $V(H)$ с наименьшими погрешностями. При этом, для контроля правильности построения моделей сред, желательно использовать все имеющиеся на площади скважины с сейсмокаротажем, для оценки точности получаемых по преломленным волнам скоростных моделей.

Детальный анализ параметров преломленных волн, регистрирующихся в начальной части сейсмограмм МОВ 2D и 3D, вполне пригоден и для изучения особенностей геологического строения верхних интервалов разреза различных территорий, где уже проведены сейсморазведочные работы МОВ. Они позволяют решать как задачи расчета статических поправок при проведении сейсморазведочных работ на нефть и газ, так и изучения по этим же материалам характера изменения физико-механических свойств пород ВЧР: определения местоположения зон разуплотнения, которые важны при проектировании или мониторинге инженерных объектов на территориях развития карста или при проведении добычных работ.

Особенно это актуально для таких территорий как Верхнекамское месторождение калийных солей, характеризующихся высоким уровнем техногенной нагрузки в верхних этажах геологического разреза. Причиной возникновения здесь аномальных зон изменения скоростей распространения упругих колебаний и других параметров волновых полей является присутствие «ослабленных» микротрещиноватых и карстующихся отложений и разрывных структур горных пород, образование которых связано с характером существующих на современном этапе развития региональных тектонических напряжений (Спасский, 1990, Спасский, 1994).

Согласно этим исследованиям, возникновение таких ослабленных зон приводит к циркуляции флюидов в отложениях ВЧР, сопровождающихся выщелачиванием, изменением состава пород и их разрушением. В связи с этим изучение строения пород надсолевого комплекса отложений на Верхнекамском месторождении солей становится первоочередной задачей при разработке месторождения и градостроительстве. В этом случае имеется возможность использовать не только времена регистрации различных классов и типов волн, полученных по материалам сейсмических наблюдений, но и особенности изменения их динамических параметров: формы колебаний, частот, относительных амплитуд и т.п. Анализ этих изменений позволяет выявить более достоверно местоположение аномальных зон разреза и провести их дополнительное более детальное исследование. Результаты анализа этих данных могут быть использованы организациями, связанными с производством подземных выработок, решением инже-

нерно-геологических, экологических проблем и микросейсморайонированием территорий.

При этом моделирование временных полей преломленных волн для различных скоростных моделей строение пород ВЧР позволит более достоверно проводить решение обратных задач МПВ на основе получаемых временных полей и повысить точность решаемых сейсморазведкой задач.

Библиографический список:

1. *Авербух А.Г.* Интерпретация материалов сейсморазведки преломленными волнами. М.: Недра, 1975. 223 с.
2. *Ампилов Ю.П.* Сейсмическая интерпретация: опыт и проблемы. М.: «Геоинформмарк», 2004. 286 с.
3. *Бондарев В.И., Крылатков С.М.* Анализ данных сейсморазведки. Екатеринбург: Издательство УГГГА, 2002. 212 с.
4. *Боганик Г.Н., Гурвич И.И.* Сейсморазведка. М.: Недра, 2006. 744 с.
5. *Горяинов Н.Н., Ляховицкий Ф.М.* Сейсмические методы в инженерной геологии. М.: Недра, 1979. 144 с.
6. *Митюнина И.Ю., Спасский Б.А., Лантев А.П.* Первые волны на сейсмограммах МОВ и изучение верхней части разреза. Геофизика, № 5, 2003. С. 5–12.
7. *Спасский Б.А., Митюнина И.Ю., Скумбин И.М.* О связи особенностей волнового поля области первых вступлений с параметрами ВЧР // Геофиз. методы поисков и разведки нефти и газа. Изд-во Перм. ун-та, Пермь, 1985. С. 29–38.
8. *Спасский Б.А.* Учет верхней части разреза в сейсморазведке. Иркутск, изд-во Иркутск. ун-та, 1990. 184 с.
9. *Спасский Б.А.* Современные тенденции в обработке преломленных волн в сейсморазведке. //Геология, вып.3, вестник Перм. у-та, 1994. С. 173–190.
10. *Спасский Б.А., Митюнина И.Ю., Огородова И.В.* Влияние скоростной анизотропии пород верхней части разреза на точность расчета статических поправок. Геофизика, 5, 2012. С. 42–46.

А.А. Зубриков, В.П. Колесников, Т.А. Ласкина
ПГНИУ, ООО «НПО Уралгеополе», vp@uralgeopole.ru

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ИЗУЧЕНИЮ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ НОВЫХ МОДИФИКАЦИЙ МЕТОДОВ ЭЛЕКТРОМЕТРИИ

Рассмотрены результаты опытно-методических работ по оценке эффективности применения новых модификаций методов электрометрии в условиях соляного месторождения, включающих групповое и интегральное многочастотное зондирования. Показана экономическая эффективность практического их применения при изучении пространственном изменении электрических свойств среды в интервале глубин от земной поверхности до продуктивной части разреза.

Ключевые слова. Электроразведка, групповое зондирование, многочастотное зондирование, методика, соляное месторождение, техногенные электромагнитные поля.

THE RESULTS OF EXPERIMENTAL RESEARCHES ON STUDYING OF EFFICIENCY OF APPLICATION OF NEW MODIFICATIONS OF RESISTIVITY METHODS

The results of experimental and methodological work on the evaluation of the effectiveness of new modifications of electrometry methods in the conditions of salt deposits, including group and integral multi-frequency sensing. The economic efficiency of their practical application in the study of spatial changes in the electrical properties of the medium in the depth range from the earth's surface to the productive part of the section is shown.

Key word: Electrical exploration, group sensing, multi-frequency sensing, methods, salt deposit, man-made electromagnetic fields.

Разработка и исследование различных модификаций методов электрметрии, раскрывающих их многофункциональные возможности, является одним из актуальных направлений развития этих методов.

Целью данной работы являлось исследование эффективности применения ряда разрабатываемых методов, основанных на использовании стационарных и квазистационарных электромагнитных полей, включающего метод групповых зондирований (ГЗ) (Колесников и др., 2016) и интегрального многочастотного зондирования (ИЧЗ). Работы выполнены в условиях Верхнекамского соляного месторождения (ВКМКС) для уточнения геологического строения и оценки состояния солевых и надсолевых пород с возможностью геометризации ослабленных зон и повышения оперативности ведения работ.

Методика групповых зондирований (ГЗ) основана на использовании многоэлектродной установки в виде косы с системой парных электродов, расположенных с постоянным шагом вдоль профиля наблюдений, выполняющих в процессе зондирования последовательно функцию как приемных, так и питающих электродов. Она реализует возможность последовательного получения каждого в отдельности либо любой совокупности электрических зондирований из общего набора, определяемого параметрами многоэлектродной измерительной установки.

Исследования методом ГЗ проводились с использованием аппаратно-программного комплекса АМС-1 (Алатов и др., 2010) с коммутатором СОМГЗ-48 и многоэлектродной установки в виде косы с дополнительными электродами, обеспечивающими возможность комбинирования метода ГЗ с методикой срединного градиента (СГ) (Kolesnikov и др., 2017) (рисунок 1). Комбинация технологии ГЗ с методикой срединного градиента позволяет дополнительно оптимизировать процесс полевой съемки при изучении глубин порядка первых сотен метров. Она реализуется посредством использования дополнительных питающих электродов, обеспечивающих положение всей косы или последовательно отдельных ее частей в пределах $1/3 AB$.

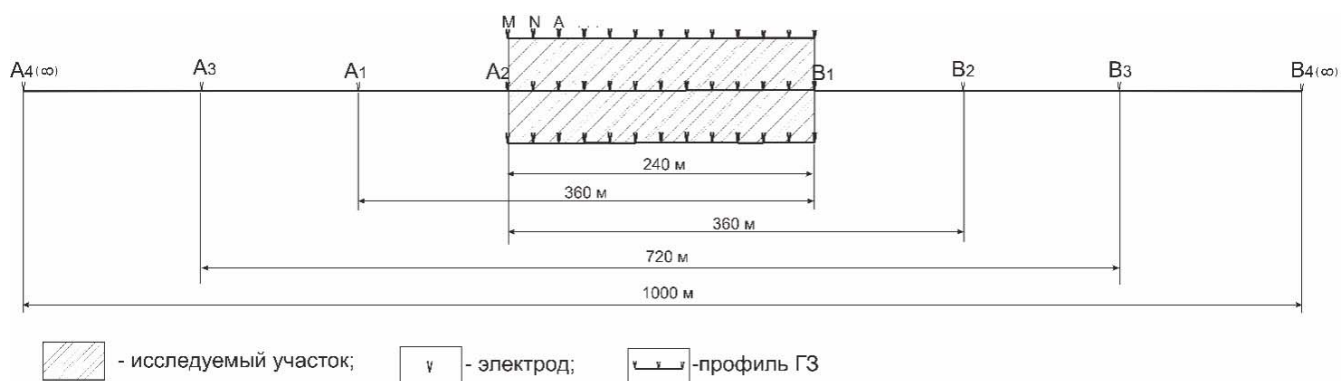


Рис. 1. Схема комбинированной установки методом ГЗ и СГ

Метод интегрального многочастотного зондирования (ИЧЗ) представляет собой новую модификацию технологии частотного зондирования (Электроразведка..., 1989), основанную на использовании интегрального поля, включающего одновременно набор нескольких заданных основных частот и их гармоник. Основным преимуществом такого подхода является возможность существенного повышения оперативности выполнения полевых работ.

Общая технология выполнения зондирования геологической среды исследуемым методом включала: а) возбуждение интегрального многочастотного поля на земной поверхности; б) регистрацию компонент напряженности интегрального магнитного поля в каждой точке наблюдений по трем ортогональным направлениям; в) определение амплитудно-частотных характеристик каждой из компонент наблюдаемого магнитного поля с помощью спектрального анализа; г) пересчет амплитудно-частотных характеристик в значения кажущегося сопротивления $\rho_k(\sqrt{T})$, ($T=1/f$); д) интерпретацию графиков зондирования $\rho_k(\sqrt{T})$ с целью получения информации о пространственном изменении электрического сопротивления пород в интервале эффективных глубин распространения электромагнитного поля.

Реализация данной технологии выполнена с помощью аппаратурно-программного комплекса, включающего: 1) модернизированный генератор АНЧ-3М, позволяющий генерировать поле заданных частот ($f = 4.88, 9.76, 19.52, 39, 78, 156$ и 312 Гц) и интегральное поле, включающее определенный набор этих частот, при максимальном токе до $I_{\max} = 2$ А; 2) аппаратурно-программный измеритель электромагнитного поля ПМП-2 (Колесников и др., 2014), основанный на использовании трехкомпонентного индукционного датчика и программы для регистрации поля заданных частот и их гармоник (Колесников и др., 2014); 3) ноутбук; 4) программу спектрального анализа переменных электромагнитных полей AnalyzerH3D (Дягилев и др., 2015); 5) интерпретационную систему программ ЗОНД (Колесников и др., 2005).

Возбуждение электромагнитного поля при выполнении работ методом ИЧЗ осуществлялось с использованием заземленной питающей линии АВ длиной 1 км. Съёмка выполнялась по площади при стационарном положении источника.

В целях выбора наиболее оптимального положения питающей линии относительно точек наблюдения были проведены опытно-методические работы с ре-

гистрацией магнитного поля на различных удалениях от источника для оценки наличия проявлений, так называемой, дальней зоны, соответствующей удалению, превышающему длину волны, которая в свою очередь, помимо частоты, зависит и от электрического сопротивления среды. Дальняя зона является наиболее информативной ввиду сформировавшегося электромагнитного поля (Ваньян, 1997). В качестве оценочного критерия проявления дальней зоны в данном случае использован известный характер убывания поля в этой зоне, происходящего обратно пропорционально расстоянию от источника ($1/r$), в отличие от ближней зоны (менее информативной), в пределах которой генерируемое поле близко к квазистатическому, убывающему более интенсивно – обратно пропорционально квадрату ($1/r^2$), либо кубу ($1/r^3$) этого расстояния (Юрцев, 1997).

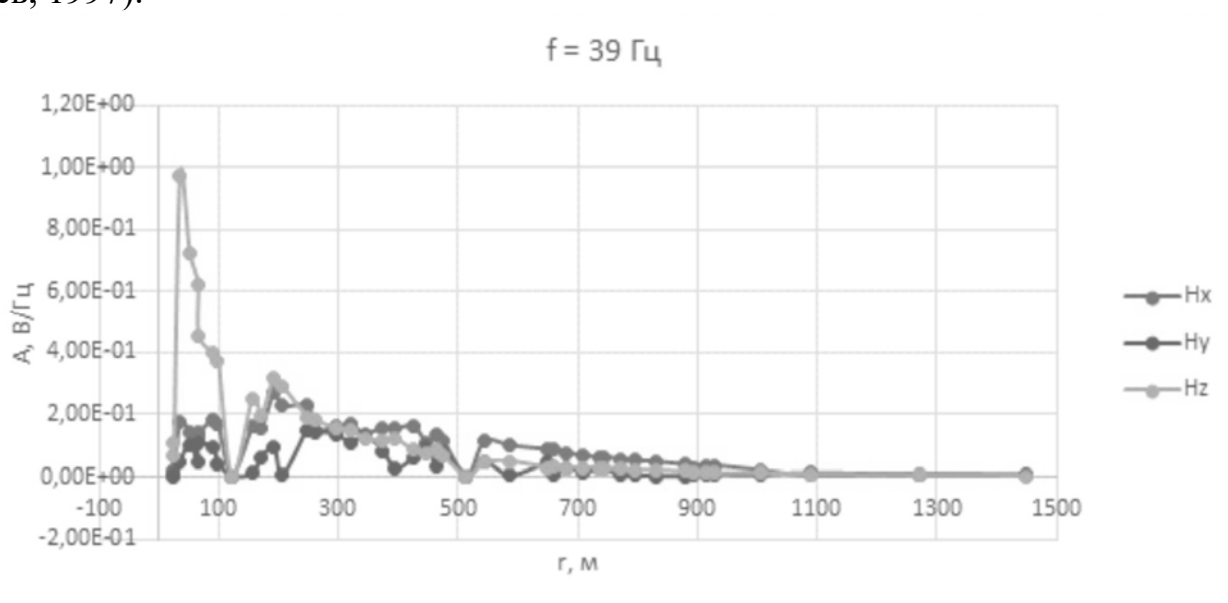


Рис. 2. Графики изменения амплитуды вертикальной и горизонтальных компонент магнитного поля с удалением от источника

Анализ графиков убывания компонент поля с удалением от линии АВ (рис. 2), а также величины измеряемого сигнала, возбуждаемого генератором АНЧ-3М при частоте 39 Гц, показал наличие проявлений дальней зоны, при удалении, начиная примерно с 400 м, с возможностью регистрации сигнала до расстояния около 800 м, за пределами которого величина сигнала может выходить за пороговый уровень чувствительности измерительного прибора.

Для заверки информативности апробированных двух методов (ГЗ и ИЧЗ) проведен комплексный анализ результатов этих методов с привлечением материалов съемок методами площадного электропрофилирования по методике срединного градиента (ЭП-СГ), зондирования с использованием промышленных электромагнитных полей (ТЭМП) и наземно-подземного просвечивания (НПП).

Комплексный анализ материалов, полученных совокупностью анализируемых (ГЗ и ИЧЗ) и дополнительных методов (ЭП-СГ, ТЭМП, НПП) (рисунок 3), показал определенную согласованность полученного ими пространственного изменения физических свойств среды, с наличием зон относительно повышенной разуплотненности и влагонасыщенности пород, косвенно отображая ин-

формативность получаемых результатов при экономичности выполнения работ. Вместе с тем, выявлен ряд нежелательных факторов, оказывающих влияние на результаты измерений. К ним относятся, во-первых, недостаточная согласованность эффективных глубин гальванического и индуктивного методов зондирования, во-вторых, недостаточное проявление условий дальней зоны при съемке методом ИЧЗ, связанное с ограниченной величиной генерируемого тока (1 А), требующих повышения мощности используемого генератора и совершенствования способов анализа наблюдаемых полей.

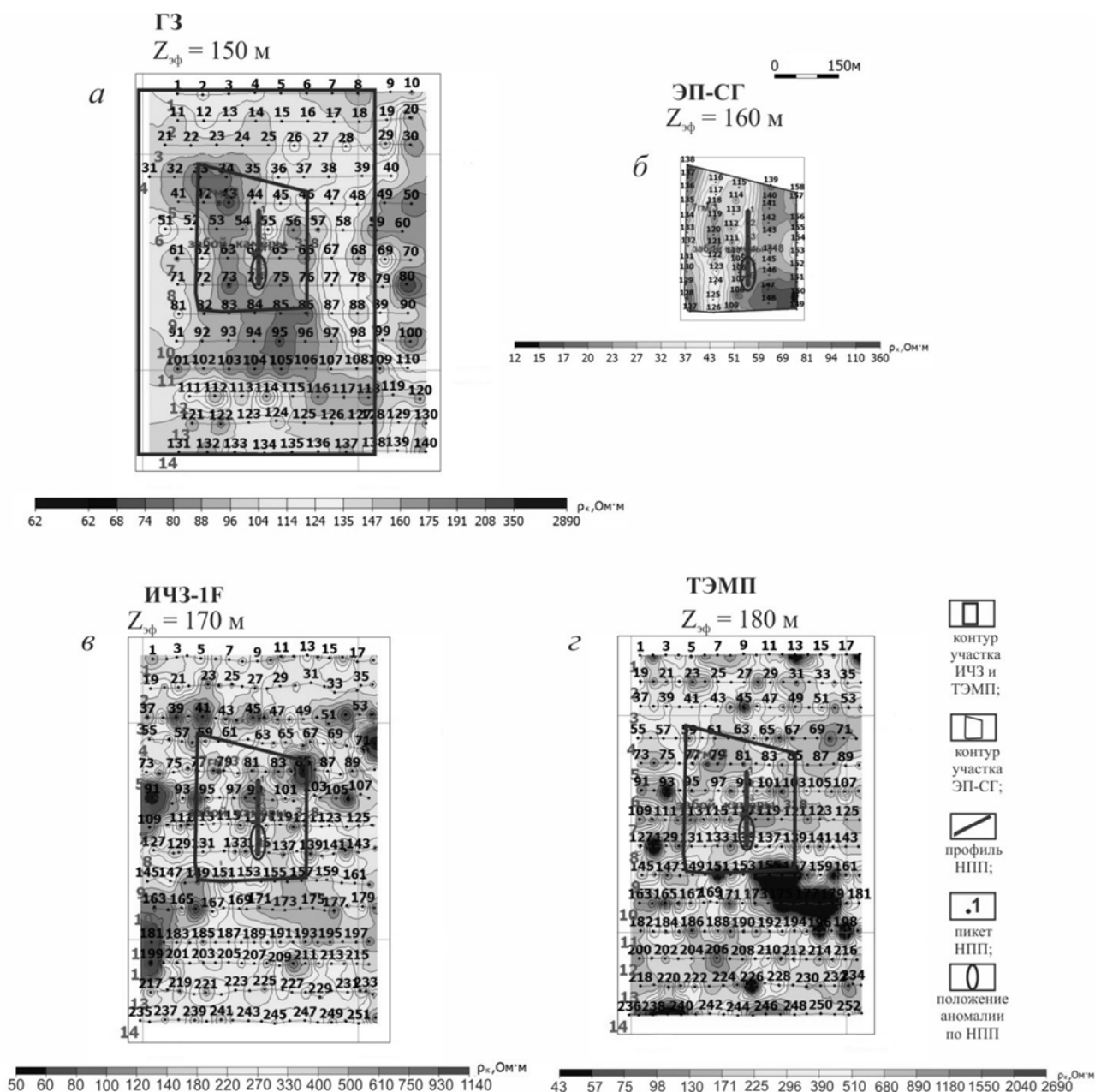


Рис. 3. Сопоставление карт эффективного сопротивления по данным ГЗ (а), ЭП-СГ (б), ИЧЗ-1F (в) и ТЭМП (г)

В результате выполненных экспериментальных работ установлено, что комбинированная установка, основанная на использовании метода групповых зондирований инверсионной установкой и срединного градиента, позволяет повы-

сить оперативность полевой съемки и обеспечивает оптимальную детальность исследования надсоляной части разреза в интервале от приповерхностных отложений до глубин порядка первых сотен метров. Метод интегрального много-частотного зондирования, используемый для контроля геодинамических процессов в пределах соляной толщи, также позволяет существенно повысить оперативность исследований за счет генерирования и одновременной регистрации заданной совокупности частот. Выполненные исследования позволили выявить ряд факторов, ограничивающих информационные возможности исследованных методов, и наметить пути снижения их влияния на результаты работ. В целом, полученные материалы показали перспективность развития рассмотренных новых модификаций электрометрии.

Библиографический список:

1. *Ваньян Л.Л.* Электромагнитные зондирования. М: Научный мир, 1997. 219 с.
2. *Колесников В.П., Ласкина Т.А.* Разработка и реализация метода низкочастотного наземно-подземного зондирования // Вестник Пермского университета. Геология. 2018. Т.17, № 3. С.284-291.
3. *Колесников В.П., Ласкина Т.А., Артемьев Д.А.* Многоэлектродные электрические зондирования с использованием инверсионной установки // Инженерные изыскания. 2016. № 2. С. 54-59.
4. *Патент на полезную модель. Аппаратурно-программный комплекс для геоэлектроразведки. Авторы: Алатов С.А., Батяев И.М., Зеленин В.П., Карпов С.Б., Колесников В.П., Мельников А.К., Татаркин А.В. № 97542 от 10.09.2010.*
5. *Патент на полезную модель. Аппаратурно-программный комплекс для геоэлектроразведки. Авторы: Колесников В.П., Дягилев Р.А., Колесников С.В. № 148256 от 28.10.2014.*
6. *Свидетельство. Программа обработки и интерпретации результатов вертикального электрического зондирования ЗОНД. Авторы Колесников В.П., Кутин В.А., Мокроносов С.В. № 2004611865 от 11.01.2005.*
7. *Свидетельство. Программа спектрального анализа промышленных электромагнитных полей для проведения геофизических изысканий. Авторы: Дягилев Р.А., Колесников В.П., Ласкина Т.А., Артемьев Д.А. № 2015617490 от 13.07.2015.*
8. *Свидетельство. Система программ для регистрации промышленных электромагнитных полей для проведения геофизических изысканий. Авторы: Колесников В.П., Дягилев Р.А. № 2014611489 от 04.02.2014.*
9. *Электроразведка: Справочник геофизика: в 2 кн. / под ред. В.К. Хмелевского и В.М. Бондаренко. М.: Недра, 1989. 438 с.*
10. *Юрцев О.А.* Элементы общей теории антенн. Методическое пособие, часть 1. Минск: БГУИР, 1997.
11. *Kolesnikov V.P., Karpov S.B., Laskina T.A., Mokronosov S.V., Zubrikov A.A.* Development of the electrical prospecting technology on the base of the AMS-ZOND hardware-software package // Engineering Geophysics 2017. 2017. PP. 198-203. DOI: 10.3997/2214-4609.201700382.

А.С. Долгаль¹, О.М. Муравина², В.А. Ворошилов³

¹ Горный институт УрО РАН, dolgal@mi-perm.ru

² Воронежский государственный университет, г. Воронеж, muravina@geol.vsu.ru

³ ПГНИУ, vlad13a@gmail.com

АНАЛИЗ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ МЕТОДОМ ЭМПИРИЧЕСКОЙ МОДОВОЙ ДЕКОМПОЗИЦИИ (EMD)

Представлен метод декомпозиции профильных геофизических данных, при котором в ходе итерационного вычислительного процесса адаптивно выделяются ортогональные разночастотные компоненты сигнала (EMD), которые называются эмпирическими модовыми функциями (IMF). Метод предназначен для частотного представления нестационарных сигналов, его отличительной особенностью является отсутствие априорно заданного функционального базиса разложения. Предлагается оригинальный алгоритм, в котором для построения функций, огибающих экстремумы анализируемого сигнала, используется истокообразная аппроксимация, а остаток при разложении может отождествляться с фоновой составляющей поля. Осуществлено комплексирование EMD с методом группового учета аргументов (МГУА). Приведены практические примеры применения EMD.

Ключевые слова: сигнал, EMD, МГУА, алгоритм, аппроксимация, составляющая поля, гравиразведка, магниторазведка, электроразведка.

A.S. Dolgal¹, O.M. Muravina², V.A. Voroshilov³

¹ Mining Institute, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, dolgal@mi-perm.ru

² Voronezh State University, Voronezh, geophysics@geol.vsu.ru

³ Perm State University, vlad13a@gmail.com

ANALYSIS OF GEOPHYSICAL FIELDS THE EMPIRICAL MODE DECOMPOSITION METHOD (EMD)

A method of decomposition of core geophysical data is presented, in which during an iterative computational process, orthogonal different-frequency signal components (EMD) are adaptively distinguished, which are called empirical mode functions (IMF). The method is intended for the frequency representation of non-stationary signals, its distinguishing feature is the absence of a priori given functional basis of the decomposition. An original algorithm is proposed, in which the source-like approximation is used to construct the functions that envelop the extrema of the signal being analyzed, and the remainder during decomposition can be identified with the background field component. The integration of EMD with the method of group method of data handling (GMDH) is carried out. Practical examples of using EMD are given.

Key words: signal, EMD, GMDH, algorithm, approximation, field component, gravity, magnetic, electrical.

Метод эмпирической модовой декомпозиции (Empirical Mode Decomposition – EMD) был предложен Норденом Хуангом в 1995 году и первоначально использовался при изучение поверхностных волн тайфунов. В 1998 г метод был

обобщен применительно к анализу произвольных временных рядов (Huang et al., 1998). Метод является важнейшей составляющей преобразования Гильберта-Хуанга (Huang-Hilbert Transform - ННТ), получившего в дальнейшем широкое применение в различных областях науки и техники (Huang, Shen, 2005; Нежевенко, Феоктистов, 2014; Сафиуллин, 2015; Ястребов, 2016 и др.), наряду с преобразованием Фурье (Kahaner, 1989) и вейвлет-анализом (Dremin et al., 2001).

В области геофизики известны примеры успешного использования ННТ и EMD при анализе сейсмической активности и землетрясений (Huang, Wu, 2008), анализе структуры сейсмических сигналов (Долгих, 2008; Павлов, Филатова, 2011), изучении сейсмоакустической эмиссии горных пород (Иванов, Бабуркина, 2011), подавлении помех в каротажных данных (Давыдов, Давыдов, 2010), обработке материалов аэрогравиметрических исследований (Hassan, 2008). Метод EMD также применялся для разделения электрического, гравитационного и магнитного полей на составляющие, обусловленные определенными процессами или объектами (Долгаль, Христенко, 2017), апробировался для учета влияния рельефа при аэромагнитной съемке над платобазальтами (Dolgal et al., 2017), а также обеспечил подавление техногенных помех при детальной магнитной съемке при решении инженерно-геологических задач (Новикова, Ворошилов, 2017). На примере геолого-геофизических материалов по Вычегодскому и Колпаковскому прогибам был сделан вывод о высокой эффективности EMD при комплексном анализе потенциальных полей с целью прогнозирования нефтегазоносности (Калинин и др., 2019).

Характерной особенностью большинства геофизических полей является нестационарность, т.е. естественное изменение их статистических характеристик в пространстве (Никитин, Петров, 2008). Одной из возможных причин этого является фрактальность – самоподобная иерархически упорядоченная структура геологической среды, порождающая соответствующее распределение аномалий (Блох, 2004; Долгаль, Пугин, 2006). EMD в силу использования адаптивного базиса может широко применяться для анализа нестационарных данных (Ульянова и др., 2015), т.е. является более адекватным геофизической практике, чем многие из известных методов обработки сигналов.

В методе EMD предполагается, что анализируемый сигнал состоит из серии составляющих с различными частотами (intrinsic mode functions – IMF), обладающих следующими свойствами: 1) число максимумов и минимумов функции, а также и количество пересечений нуля отличаются не более, чем на единицу; 2) среднее значение огибающих, построенных по локальным максимумам и локальным минимумам близко к нулю. В отличие от гармоник, получаемых при представлении дискретного сигнала рядом Фурье, каждая IMF может иметь переменную амплитуду и частоту в разные моменты времени t (или в разных точках пространства x).

Возьмем значения $f(x)$ геофизического поля (сигнал), полученные в k точках наблюдений на профиле с постоянным шагом Δx . Выделим все максимумы и минимумы сигнала и проведем через эти точки огибающие $p(x)$ и $q(x)$, соответственно. Теперь для всех k точек можно определить функцию средних значений

$\varphi(x) = (p(x) + q(x))/2$. Разность $\psi(x)$ между $f(x)$ и $\varphi(x)$ будет являться первым приближением IMF 1 (рис. 1), т.е. первой компонентой отсеивания (*sifting*).

Для дальнейшей записи введем нижние индексы $i = 1, 2, \dots, m$, отвечающие вычисляемой IMF (а также функции $\varphi(x)$) и номеру $j = 1, 2, \dots, n$ ее приближения. Теперь охарактеризованное выше первое приближение к IMF 1 это $\psi_{1,1}(x) = f(x) - \varphi_{1,1}(x)$. Процесс уточнения каждой IMF (отсеивание: внутренний итерационный цикл по j) выглядит следующим образом:

$$\psi_{i,j+1}(x) = \psi_{i,j}(x) - \varphi_{i,j}(x), 1 \leq j \leq n \quad (1).$$

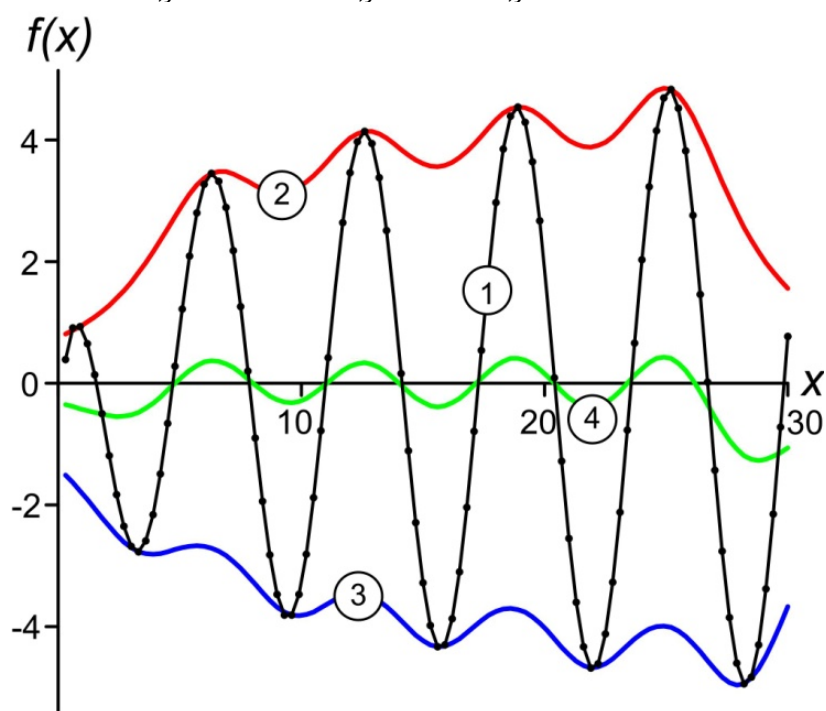


Рис. 1. Построение IMF для функции $f = \cos(x)\ln(5x)$ при $0.3 \leq x \leq 30$: 1 – сигнал $f(x)$; огибающие: 2 – $p(x)$, 3 – $q(x)$; 4 – функция $\varphi(x)$

Критерием его завершения является выполнение условия:

$$\frac{\sum_k (\psi_{i,j}(x) - \psi_{i,j-1}(x))^2}{\sum_k (\psi_{i,j-1}(x))^2} \leq \delta \quad (2),$$

где δ – заданная погрешность или осуществление требуемого числа итераций n . Таким образом, фактически выполняемое число итераций составляет $n = n(\delta)$. В результате отсеивания будет получена IMF 1. Для построения IMF 2 нужно будет организовать новый цикл (1), используя теперь в качестве исходных данных разность сигнала и уже имеющейся модовой функции: $\psi_{2,1} = f(x) - \psi_{1,n}$. Дальнейшее вычисление всех IMF (разложение: внешний итерационный цикл по i) проводится на основе последовательного исключения из сигнала всех предыдущих модовых функций:

$$\psi_{i+1,1} = \psi_{i-1,n} - \psi_{i,n}, 2 \leq i \leq m \quad (3).$$

Для решения многих геофизических задач характерно наличие фоновой компоненты в анализируемом сигнале. Поэтому для останова внешнего цикла (3) используется критерий, предполагающий высокую гладкость остатка $r(x) = \psi_{m+1,1}(x)$: вычисления прекращаются, если функция $r(x)$ имеет меньше двух

максимумов и меньше двух минимумов. Таким образом, после проведения всех циклов просеивания (1) и разложения (3) исходный сигнал удастся представить в виде суммы всех IMF и остаточной составляющей:

$$f(x) = \sum_{i=1}^m \psi_{i,n}(x) + r(x) \quad (4).$$

Сигнал $f(x)$ согласно, (4), оказывается разложенным по отвечающему исходным данным конечному адаптивному базису, не имеющему аналитического описания. Этот базис является полным, ортогональным и, по мнению Н. Хуанга, единственным (Huang et al, 1998).

Важнейшим элементом процесса эмпирической модовой декомпозиции является построение огибающих сигнала $p(x)$ и $q(x)$. Для этой цели широко используются кубические сплайны, также апробировано применение В-сплайнов (Chen, Huang, 2004). Однако методы сплайн-интерполяции нередко вносят заметные искажения в краевые части сигнала, для уменьшения которых в данной статье предлагается использование истокообразной аппроксимации (Balk et al, 2016) при вычислении огибающих $p(x)$ и $q(x)$. Алгоритм состоит в следующем: первоначально определяются координаты x точек локальных экстремумов анализируемой функции $f(x)$ (или $\psi(x)$) и значения этих экстремумов. Предположим, что имеется t_1 значений амплитуды h_1 максимумов и t_2 значений амплитуды h_2 минимумов.

Можно рассчитать наибольшее расстояние x_{\max} между соседними парами максимумов и аппроксимировать огибающую $p(x)$ линейной комбинацией гармонических функций:

$$p(x) \cong \sum_{t=1}^{t_1} b_t z / ((x_t - x)^2 + z^2) \quad (5),$$

где b_t – коэффициенты, определяемые в процессе аппроксимации; z – константа; x_t – абсциссы локальных максимумов. Правая часть выражения (5) представляет собой гравитационный эффект совокупности бесконечно длинных горизонтальных стержней, размещенных на глубине z под точками $x_t, t = 1, 2, \dots, t_1$, обладающих линейными массами, пропорциональными b_t (19). Значения коэффициентов b_t определяются путем решения системы линейных алгебраических уравнений (СЛАУ) методом Зейделя:

$$\mathbf{A}\mathbf{b} = \mathbf{c} \quad (6),$$

где \mathbf{A} – матрица коэффициентов вида $z / ((x_t - x)^2 + z^2)$ размером t_1 строк, t_1 столбцов; $\mathbf{b} = \{b_t\}$ – вектор неизвестных параметров; $\mathbf{c} = \{h_1\}$ – вектор максимальных значений функции $f(x)$ или $\psi(x)$. Выбор константы $0,5x_{\max} \leq z \leq 2x_{\max}$ обеспечивает устойчивость вычислений и высокую точность аппроксимации (20,21). Сходимость метода обусловлена тем, что матрица \mathbf{A} является симметричной, положительно определенной и наделена свойством диагонального преобладания. Качество аппроксимации контролируется в метрике Чебышева:

$$\max_{1 \leq t \leq t_1} |h_1(x_t) - p(x_t)| \leq \varepsilon_0 \quad (7),$$

где ε_0 – достаточно малая положительная величина.

Построение огибающей по минимумам $q(x)$ осуществляется аналогично, в соответствии с формулами (5) – (7), при замене в них $p(x)$ на $q(x)$, t_1 на t_2 , h_1 на h_2 . Полученные аналитические выражения (5) для двух огибающих используются при вычислении функции средних значений $\varphi(x)$ во всех k точках оси x . Высокую точность построения огибающих $p(x)$ и $q(x)$, а также незначительные искажения в краевых частях профиля иллюстрирует рис. 1.

Вышеописанный алгоритм эмпирической модовой декомпозиции реализован авторами в программе EMD-Profil, написанной на языке Object Pascal с использованием интегрированной среды кроссплатформенной разработки приложений Lazarus (версия 1.8.4). В программе используются следующие параметры: максимальное количество эмпирических мод $m \leq 15$; показатель качества аппроксимации $\varepsilon_0 \leq 10^{-4}L$, где L – размах аппроксимируемой функции; пользователем задаются максимальное число циклов отсеивания n (по умолчанию $n \leq 7$) и погрешность δ приближенного построения IMF (по умолчанию $\delta \leq 0,01$). Как правило, для достижения условия (7) требуется не более 20–30 итераций при решении СЛАУ (6). Затраты времени на декомпозицию геофизических данных, заданных в $k = 601$ точках, при $i = 7$ и суммарном количестве циклов просеивания $\sum n = 43$, на компьютере с процессором Intel(R) Core(TM) i7-4770K с тактовой частотой 3,5 ГГц составляют 10 с.

Кратко рассмотрим некоторые возможности и дальнейшие перспективы анализа геофизических полей с использованием EMD.

1) *Моделирование геофизических полей.* Использование адаптивного базиса разложения сигнала в ряде случаев позволяет выделить его физически значимые компоненты, отвечающие влиянию отдельных факторов. Можно предложить следующую, близкую к традиционной, аддитивную модель наблюдаемого поля $f(x)$:

$$f(x) = f_{\text{лок}} + f_{\text{рег}} + \varepsilon_1 + \varepsilon_2 \quad (8),$$

где $f_{\text{лок}}$ – локальная компонента (полезный сигнал), $f_{\text{рег}}$ – региональный фон, ε_1 – погрешность геофизической съемки (белый гауссовский шум), ε_2 – геологическая помеха. Весьма ограниченный объем экспериментальных данных позволяет приближенно отождествлять наиболее высокочастотную IMF 1 с составляющей ε_1 , остаток разложения $r(x)$ – с составляющей $f_{\text{рег}}$. Следует отметить, что для гравиметрической съемки величина ε_1 может примерно в 1.2–1.5 раза превышать формальную точность определения аномалий Буге и, возможно, является объективной оценкой точности съемки (рис. 2). Адаптивное выделение регионального фона в виде составляющей $r(x)$ представляет несомненный интерес для практики, один из примеров такого выделения представлен на рис. 3.

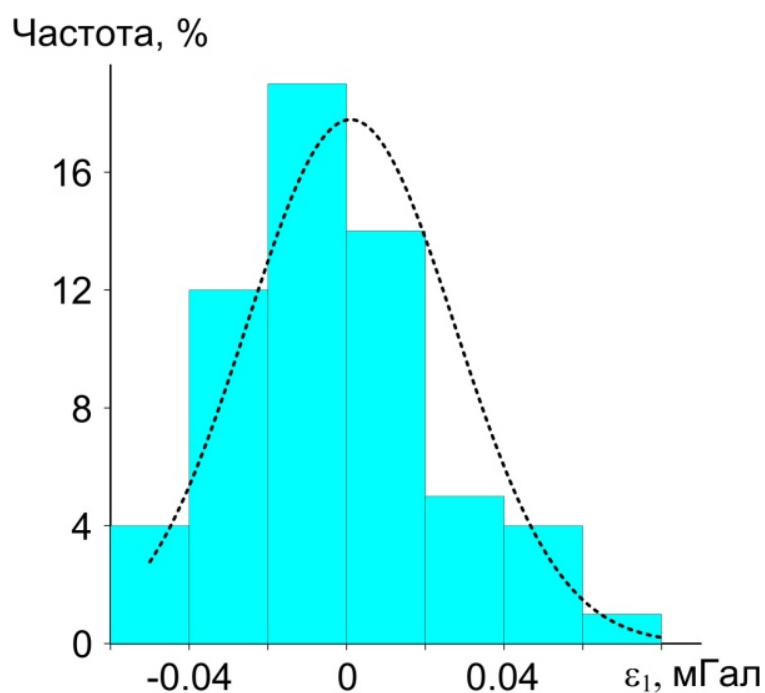


Рис. 2. Оценка точности гравиметрической съемки, выполненной ГИ УрО РАН в пределах БКПРУ-2: гистограмма IMF 1 и ее аппроксимация функцией нормального распределения ($M(\varepsilon_1) = 0.001$ мГал, $\sigma(\varepsilon_1) = 0.026$ мГал)

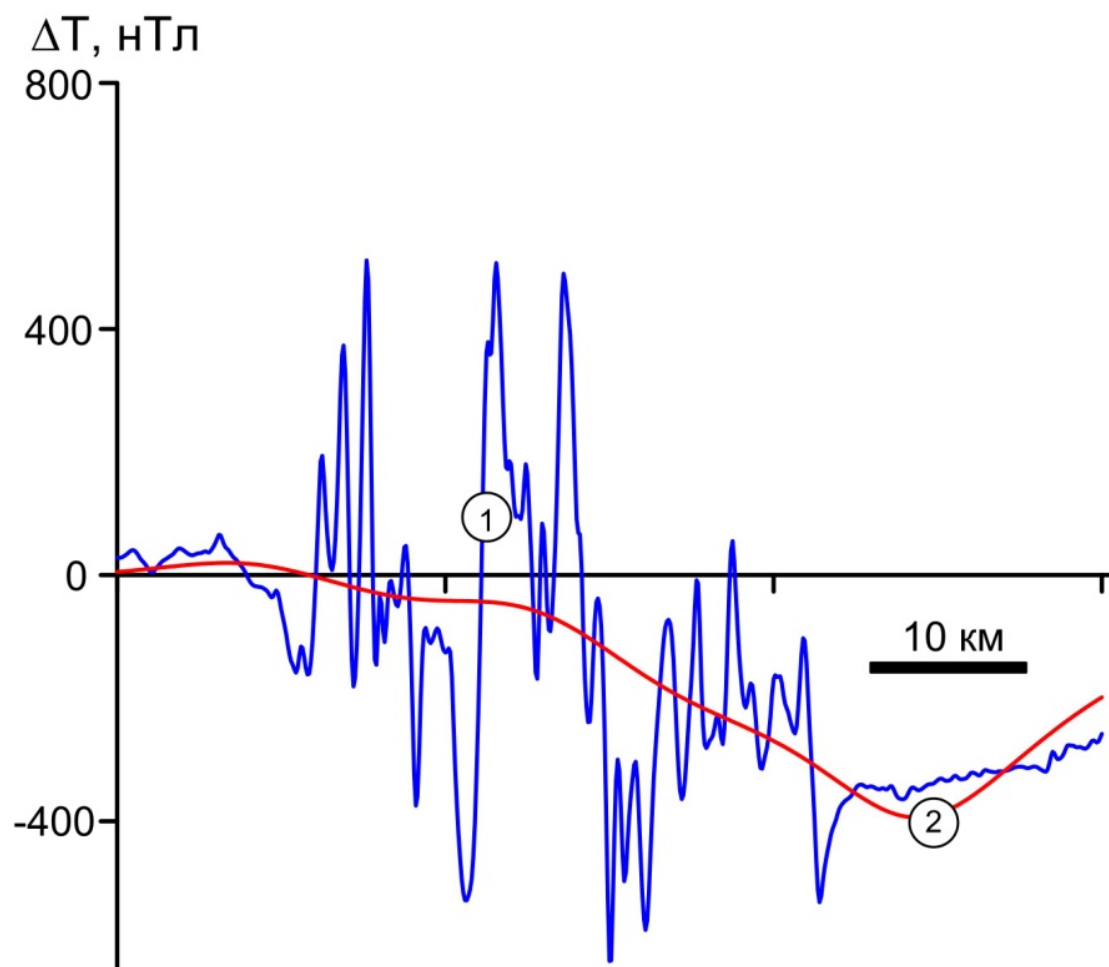


Рис. 3. Результаты аэромагнитной съемки над платобазальтами Восточной Сибири: 1 – аномальное магнитное поле ΔT , 2 – региональный фон (функция $r(x)$)

Для выделения составляющей $f_{\text{лок}}$ нужна априорная информация о целевых аномалиеобразующих объектах, либо о предполагаемых источниках геологических помех ε_2 . В частности, если требуется подавление влияния сравнительно небольших по размерам приповерхностных неоднородностей геологического разреза, то можно принять $\varepsilon_2 = \psi_2$ или $\varepsilon_2 = \psi_2 + \psi_3$.

2) *Расширение признакового пространства для комплексной интерпретации данных.* В методах классификации многомерных данных (типа K-средний и т.п.) и распознавания образов (система MultAlt и т.п.) нередко используются предварительные преобразования информации с целью получения дополнительных признаков. Для этой цели могут использоваться статистические и градиентные характеристики полей, рассчитанные в пределах скользящего окна (Никитин, Петров, 2008) или результаты вейвлет-преобразования (Hristenko et al., 2018). В роли независимых признаков могут также выступать IMF и остаток разложения (рис. 4).

3) *Корреляционные методы интерпретации геофизических полей.* Эти методы базируются на последовательном применении двух процедур: выявления статистических связей между изучаемой геологической характеристикой (эталоном) и геофизическим полем (или трансформантой) и применении полученного оператора с целью прогнозирования геологической характеристики по геофизическим параметрам. Для получения более эффективного решения обычно стараются выделить из геофизического поля компоненту f^* , наилучшим образом связанную с изучаемым геологическим объектом (Гравиразведка, 1990). Выделение этой компоненты может осуществляться с помощью EMD. В определенных диапазонах пространственных частот особенности связи «объект-поле» могут проявляться достаточно отчетливо, поэтому целесообразно проводить сопоставление IMF, характеризующих аномалии и их источники. Пример такого сопоставления, выполненного с целью приближенного учета влияния рельефа земной поверхности на результаты крупномасштабной аэромагнитной съемки, выполненной в Норильском районе НФ ВСЕГЕИ в 2012-2013 годах, представлен на рис. 5 и в табл. 1 (Dolgal et al., 2017). Методом группового учета аргументов (МГУА) на втором ряду селекции с учетом всех полученных IMF была построена регрессионная модель, характеризующая обусловленную рельефом составляющую магнитного поля δT_p , обусловленную влиянием рельефа:

$$\delta T_p = a_1 + a_2 Z_1 + a_3 Z_2, \quad \text{где} \quad Z_1 = b_1 + b_2 H_3 + b_3 H_4 + b_4 H_3 H_4, \\ Z_2 = c_1 + c_3 H_1 + c_4 H_1 H_4, \quad a, b, c - \text{коэффициенты, } H - \text{высота рельефа земной поверхности.}$$

Результаты корреляционного метода определения δT_p близки к результатам, полученным путем решения прямой задачи магниторазведки от цифровой модели местности в скользящем окне диаметром 40 км. Однако корреляционный способ не требует априорных данных о намагниченности горных пород, слагающих верхнюю часть разреза и о высотах съемочных полетов, а также автоматически учитывает сферообразную форму Земли, т.е. имеет ряд преимуществ перед детерминистскими методами (Долгаль, 2014).

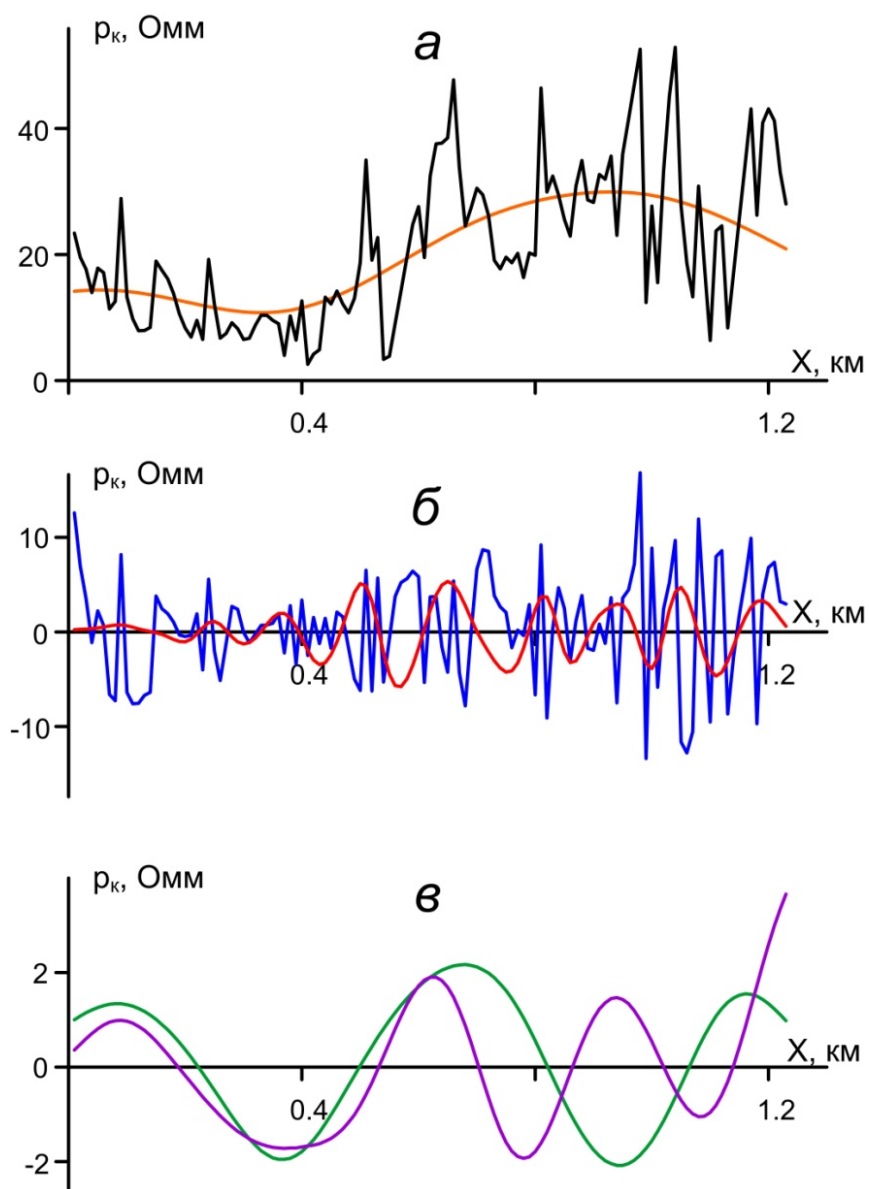


Рис. 4. Результаты электропрофилирования симметричной установкой $AB = 400$ м, $MN = 10$ м в пределах БКПРУ-1: сигнал и остаток (а); IMF 1 и IMF 3 (б); IMF 5 и IMF 7 (в). Примечание: $m = 7$

Таблица 1. Коэффициенты линейной корреляции между магнитным полем ΔT , высотами рельефа H и результатами EMD

Параметры	ΔT	ΔT_1	ΔT_2	ΔT_3	ΔT_4^*	$r_{\Delta T}$
H	0,295	0,078	0,092	0,171	0,381	-0,076
H_1	0,224	0,644	0,141	0,0193	-0,070	-0,043
H_2	0,338	0,082	0,614	0,235	-0,064	0,075
H_3	0,317	-0,029	0,110	0,303	0,177	0,184
H_4	0,546	-0,105	-0,076	0,168	0,881	0,167
r_H	-0,092	0,052	-0,053	-0,026	0,068	-0,268

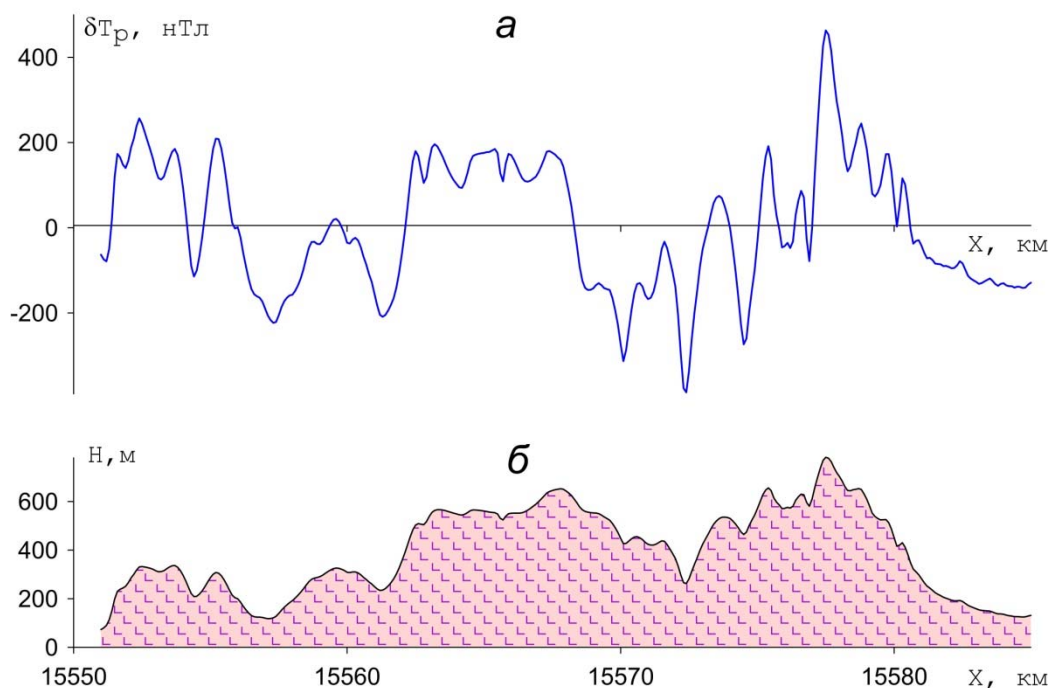


Рис 5. Учет влияния рельефа местности на аномальное магнитное поле: а – составляющая магнитного поля δT_p ; б – абсолютные отметки рельефа земной поверхности H . Норильский рудный район

Дальнейшие перспективы использования EMD авторы связывают с корреляционным подходом, основанным на комплексировании этого метода и МГУА (Муравина, 2012), а также на создании 3D модификации алгоритма.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ № 19-05-00654 А, 18-05-00266 а.

Библиографический список:

1. Huang N. E., Shen Z., Long S. R., Wu M. C., Shih H. H., Zheng Q., Yen N.-C., Tung C. C., and Liu H. H. The empirical mode decomposition and the Hilbert spectrum for nonlinear and non-stationary time series analysis // Proc. R. Soc. Lond. A. 1998. Т. 454. pp. 903–995.
2. Eds By Norden E. Huang, Samuel S. Shen. Pub. The Hilbert-Huang Transform and Its applications / World Scientific Publishing Company. 2005. ISBN 981-256-376-8. 324 p.
3. Ястребов И.П. О свойствах и применениях преобразования Гильберта-Хуанга // Проектирование и технология электронных средств. Владимирский. гос. ун-т. 2016. № 1. С. 26–33.
4. Нежевенко Е.С. Феоктистов А.С. Преобразование Гильберта-Хуанга двумерных изображений и использование его для выделения текстурных признаков // Материалы международной научной конференции «Региональные проблемы дистанционного зондирования Земли» (г. Красноярск, Россия, 23-26 сентября 2014). Красноярск: Сиб. федер. ун-т. 2014. С. 200–203.
5. Сафиуллин Н.Т. Разработка методики анализа временных рядов с помощью преобразования Хуанга-Гильберта : дис. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук. Новосибирск. 2015. 193 с.
6. Kahaner D. Numerical Methods and Software Cleve Moler and Stephen Nash, Prentice-Hall. 1989. P. 495. ISBN: 9780136272588.
7. Dremine I.M., Ivanov O.V., Nechitailo V.A. Wavelets and their uses // Physics-Uspekhi. 2001. Vol. 44. № 5. P. 447–478.

8. *Huang, N. E., and Z. Wu* (2008), A review on Hilbert-Huang transform: Method and its applications to geophysical studies, *Rev. Geophys.*, 46, RG2006, doi:10.1029/2007RG000228
9. *Павлов А.Н., Филатова А.Е.* Метод эмпирических мод и вейвлет фильтрация: применение в задачах геофизики // *Известия вузов. Прикладная нелинейная динамика*. 2011. Т. 19, № 1. С. 3–13.
10. *Долгих Л.А.* Выделение информативной составляющей сейсмоакустического сигнала: возможные подходы // *Проблемы автоматизации и управления в технических системах: Тр. междунар. науч. техн. конф. Пенза: ИИЦ ПГУ, 2008. С. 322–323.*
11. *Иванов Д.Б., Бабуркина М.А.* Анализ изменения частотного состава сигналов естественной и вызванной сейсмоакустической эмиссии // *Двенадцатая уральская молодежная научная школа по геофизике: Сборник науч. материалов. Пермь: ГИ УрО РАН, 2011. С. 86–90.*
12. *Давыдов В.А., Давыдов А.В.* Управление эмпирической модовой декомпозицией сигналов при анализе и обработке геофизических данных // *Каротажник*. 2010. № 5. С. 98–114.
13. *Hassan H. Hassan and John W. Peirce* Empirical Mode Decomposition (EMD) of potential field data: airborne gravity data as an example // *Recorder*, January 2008. VOL.33 NO. 01. pp. 25–30. URL: <http://csegrecorder.com/articles/view/empirical-mode-decomposition-emd-of-potential-field-data/> (дата обращения 27.10.2016).
14. *Долгаль А.С., Христенко Л.А.* Применение эмпирической модовой декомпозиции при обработке геофизических данных // *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. 2017. Т. 328. № 1. С. 100–108.
15. *Dolgal A.S., Muravina O.M., Hristenko L.A.* The reduction of the magnetic field within development areas of the plateaubasalts // *Geoinformatics 2017. 15-17 May 2017, Kiev, Ukraine. 11143_ENG*. Электронная публикация (CD).
16. *Новикова П.Н., Ворошилов В.А.* Обнаружение подземных коммуникаций в условиях техногенных помех по данным магнитного поля // *Геофизика*. 2017. № 5. С 4–9.
17. *Калинин Д.Ф., Яновская Ю.А., Долгаль А.С.* Использование метода эмпирической модовой декомпозиции потенциальных полей с целью оценки региональных перспектив нефтегазоносности. // *Вопросы теории и практики геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей: Сборник научных трудов. Вып. 1 (46). Пермь: ГИ УрО РАН, ПГНИУ, 2019. С. 153-157.*
18. *Никитин А.А, Петров А.В.* Теоретические основы обработки геофизической информации: учебное пособие – Москва, Издательство 2008. 112 с.
19. *Блох Ю.И.* Проблема адекватности интерпретационных моделей в гравиразведке и магниторазведке // *Геофизический вестник*. 2004. № 6. С. 10–1
20. *Долгаль А.С., Пугин А.В.* Алгоритмы аппроксимации геопотенциальных полей, базирующиеся на фрактальном подходе.// *Вестник КРАУНЦ. Серия наук о Земле*. 2006. № 1. – Вып. 7. С. 95 – 101.
21. *Ульянова Ю.Е., Бабенко Р.Г., Чернов А.В.* Частотно-временные преобразования, используемые в цифровой обработке сигналов // *Глобальная ядерная безопасность*. 2015. №3(16). С. 36–42.
22. *Chen Q., Huang N., Riemenschneider S.* A B-spline approach for empirical mode decomposition // *Adv. Comp. Math*. 2004. № 24. P. 171–195.
23. *Balk P.I., Dolgal A.S., Pugin A.V., Michurin A.V., Simanov A.A. and Sharkhimullin A.F.* Effective Algorithms for Sourcewise Approximation of Geopotential Fields // *Izvestiya, Physics of the Solid Earth*. 2016. Vol. 52. № 6. P. 896–911.
24. *Гравиразведка: справочник геофизика / под ред. Е.А. Мудрецово́й, К.Е. Веселова. М.: Недра, 1990. 607 с.*
25. *Hristenko L., Stepanov Yu., Kichigin A., Parshakov E., Tainitsky A.* Interpretation of electroprospecting monitoring observations with use of probabilistic-statistical characteristics / // *Engineering and mining Geophysics 2018: 14th Conference & Exhibition, 23-27 april 2018. Almaty, 2018. code 137600.*

26. Долгаль А.С. Магниторазведка: компьютерные технологии учета влияния рельефа местности: учеб. пособие / Перм. гос. нац. исслед. ун-т. –Пермь, 2014. – 92 с.
27. Муравина О.М. Метод группового учета аргументов при анализе геофизических данных // Геофизика. 2012. № 6. С. 16–20.

Л.А. Христенко

ПФИЦ ГИ УрО РАН, liudmila.hristenko@yandex.ru

ЭМПИРИЧЕСКАЯ МОДОВАЯ ДЕКОМПОЗИЦИЯ ПРИ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ДАННЫХ ЭЛЕКТРОРАЗВЕДКИ

В статье представлены результаты вычислительных экспериментов по разложению данных электропрофилирования методом эмпирической модой декомпозиции (EMD). EMD - высоко адаптивный метод анализа нелинейных и нестационарных сигналов. Базис, используемый при разложении (набор эмпирических мод) конструируется непосредственно из тех данных (того сигнала), с которым ведется работа. Это позволяет учесть все его локальные особенности, внутреннюю структуру, наличие нежелательных особенностей (шумы, тренды, аномальные выбросы, пропущенные значения). Показано как можно организовать достаточно гибкий алгоритм снятия фоновой составляющей.

Ключевые слова: метод эмпирической модой декомпозиции, кажущееся сопротивление, потенциал естественного поля

L.A. Khristenko

Mining Institute, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences,
liudmila.hristenko@yandex.ru

EMPIRICAL MODE FUNCTIONS IN DATA INTERPRETATION OF ELECTRICAL PROSPECTING

The article presents the results of computational experiments on the decomposition of electrical profiling data using the empirical mode of decomposition (EMD). EMD is a highly adaptive method for analyzing nonlinear and non-stationary signals. The basis used in the decomposition (a set of empirical modes) is constructed directly from the data (the signal) with which the work is carried out. This allows you to take into account all its local features, internal structure, the presence of undesirable features (noise, trends, anomalous emissions, missing values). It is shown how to organize a fairly flexible algorithm for removing the background component.

Key words: empirical mode decomposition method, apparent resistance, natural field potential

Эмпирическая модовая декомпозиция (EMD) – высоко адаптивный метод анализа нелинейных и нестационарных сигналов. Базис, используемый при разложении (набор эмпирических мод) конструируется непосредственно из тех данных (того сигнала), с которым ведется работа. Это позволяет учесть все его локальные особенности, внутреннюю структуру, наличие нежелательных осо-

бенностей (шумы, тренды, аномальные выбросы, пропущенные значения). Эмпирическая модовая декомпозиция (EMD) является важнейшей составляющей преобразования Гильберта-Хуанга (Huang–Hilbert Transform – ННТ) (6). Преобразование ННТ производится в два этапа. Сначала при помощи алгоритма EMD находятся эмпирические моды или внутренние колебания (Intrinsic Mode Functions, IMF). На втором этапе при помощи преобразования Гильберта на их основе определяется мгновенный спектр исходной последовательности данных. В основе предложенного Хуангом алгоритма EMD лежит построение гладких огибающих по максимумам и минимумам последовательности, вычисление средних значений и дальнейшее вычитание среднего этих огибающих из исходной последовательности.

В результате перечисленных шагов в первом приближении находится искомая эмпирическая функция. Для полноценного выделения IMF необходимо вновь найти максимумы и минимумы у этой оценки IMF, и повторить изложенные ранее действия. Этот повторяющийся процесс называется просеиванием (sifting). Процесс просеивания продолжается до тех пор, пока не будет достигнута заданная погрешность или осуществлено требуемое число итераций.

В процессе декомпозиции получается семейство IMF функций, упорядоченных по частоте. Каждая последующая IMF имеет более низкую частоту, чем предыдущая. Использование преобразования Гильберта обусловлено тем, что Фурье и вейвлет-алгоритмы далеко не так хорошо работают с нестационарными сигналами. Нестационарность может проявляться в изменении среднего, дисперсии, мгновенной частоты и т.д. Базисные функции, используемые в анализе Фурье – синусы и косинусы, у которых фиксированная частота, не зависящие от времени среднее и дисперсия. Вейвлеты позволяют адаптивно разбить временную ось и исследовать тонкие, локальные особенности процессов. Однако не всегда выбранный материнский вейвлет подходит к конкретному сигналу.

В статье представлены результаты вычислительных экспериментов по разложению данных электрометрических наблюдений, выполненных в два этапа (весна-осень), на эмпирические моды с помощью программы RIMF (2, 4). В процессе декомпозиции графиков значений КС, построенных по наблюдениям выполненным в весенний период, были выделены шесть функций IMF и остаток r . Декомпозиция графиков значений КС, построенных по наблюдениям выполненным в осенний период, позволила выделить три функций IMF и остаток r для графика КС. На рис. 1 приводится разложение графика наблюдаемых в осенний период значений КС. Все составляющие представлены в едином масштабе, что позволяет оценить вклад каждой IMF в исходный график. Но при таком построении недостаточно отчетливо видны особенности каждой из IMF. Чтобы отразить эти особенности можно использовать при построении индивидуальный масштаб для каждой IMF или нескольких (соизмеримых по амплитуде) функций IMF (рис. 2).

Определенные сложности при применении EMD на практике связаны с появлением в ряде случаев коррелирующих между собой IMF. Это так называемый эффект микширования мод. Для подавления этого эффекта, которое хорошо просматривается при отображении функций IMF графика КС весенних наблю-

дений в индивидуальном масштабе (рис. 3), можно использовать уже описанный в прием (Долгаль, 2017): вычислить парные коэффициенты линейной корреляции и суммировать функции, имеющие тесную корреляционную связь.

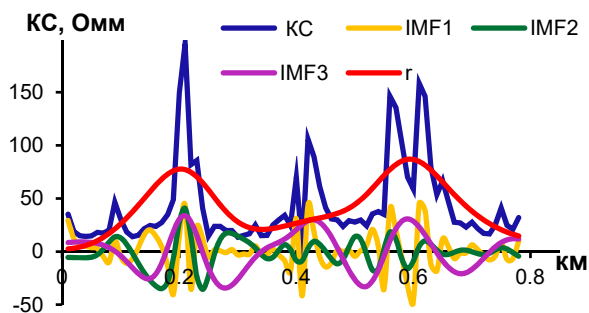


Рис. 1. Разложение графика КС на функции IMF и остаток r

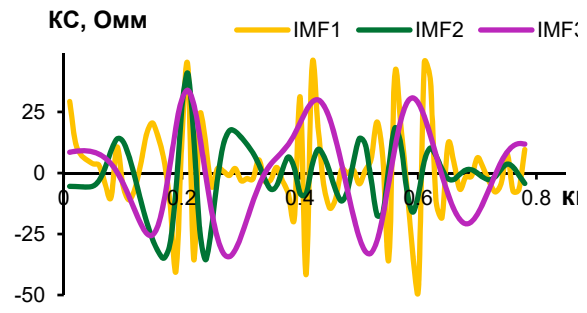


Рис. 2. Функции IMF графика значений КС в индивидуальном масштабе

Из таблицы видно, что IMF4, IMF5 и IMF6 тесно связаны между собой, поэтому их необходимо суммировать. Значимые коэффициенты парной линейной корреляции, вычисленные для функций IMF, построенных по весенним наблюдениям КС, выделены в таблице жирным шрифтом.

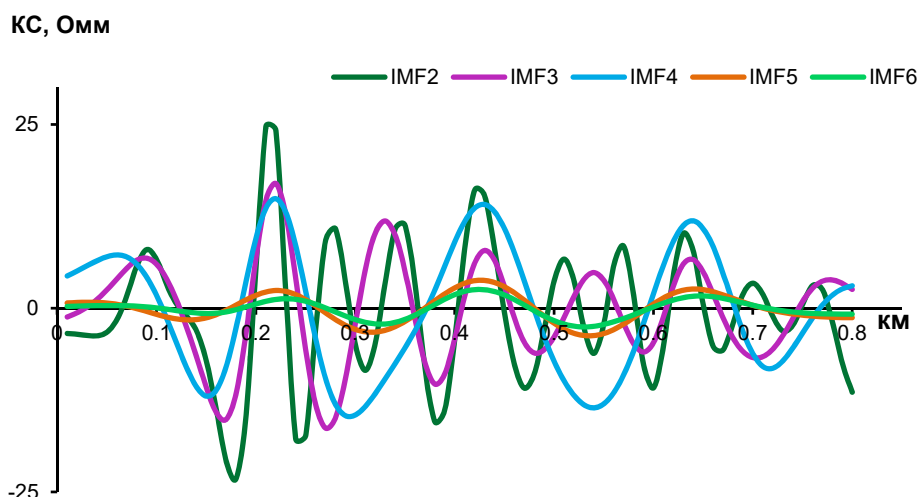


Рис. 3. Разложение графика КС на функции IMF и остаток r

Таблица. Парные коэффициенты корреляции IMF функций разложения графика КС

	IMF ₂	IMF ₃	IMF ₄	IMF ₅
IMF ₂	1			
IMF ₃	0.520	1		
IMF ₄	0.183	0.440	1	
IMF ₅	0.085	0.109	0.892	1
IMF ₆	0.112	0.080	0.853	0.977

Даже после суммирования коррелирующих функций IMF4, IMF5 и IMF6, разложения графиков КС весенних и осенних наблюдений отличаются между собой. Вероятно, это различие характеризует разную динамику процессов по сезонам. Кроме разложения на составляющие, алгоритм EMD может быть ис-

пользован для сглаживания графиков наблюдаемых параметров. Для этого можно просуммировать полученные в процессе декомпозиции две IMF (начиная со 2-ой) и остаток r . Из исходной последовательности значений КС в этом случае будет исключена самая высокочастотная из найденных составляющих IMF1, ассоциирующаяся с помехой. Если при суммировании исключить две первые компоненты: IMF 1 и IMF 2, то результирующая кривая будет еще более гладкой.

Кроме того, после получения отдельных компонент, можно организовать достаточно гибкий алгоритм снятия фоновой составляющей. За фоновую компоненту можно принять остаток r от декомпозиции или остаток, просуммированный с одной или несколькими последними IMF. Количество IMF, участвующих совместно с остатком в формировании фоновой составляющей, может варьироваться в зависимости от имеющихся у нас представлений о ней.

Процедуру снятия фона очень легко совместить со сглаживанием полученного результата, если из процесса суммирования исключить самую высокочастотную IMF1. На рисунке 4 в качестве примера получения фоновой составляющей показаны 3 варианта, использующие этот прием: сумма IMF2 и остатка r (линия красного цвета), сумма IMF3 и остатка r (линия зеленого цвета); сумма IMF2, 3 и остатка r (линия сиреневого цвета).

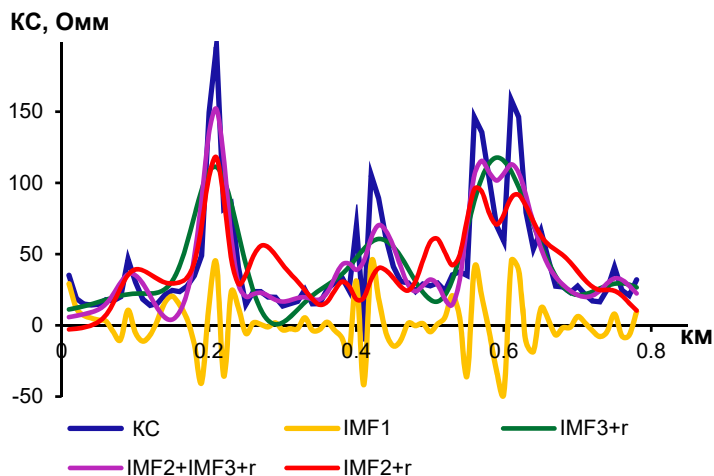


Рис.4. Варианты формирования фоновой компоненты графика КС

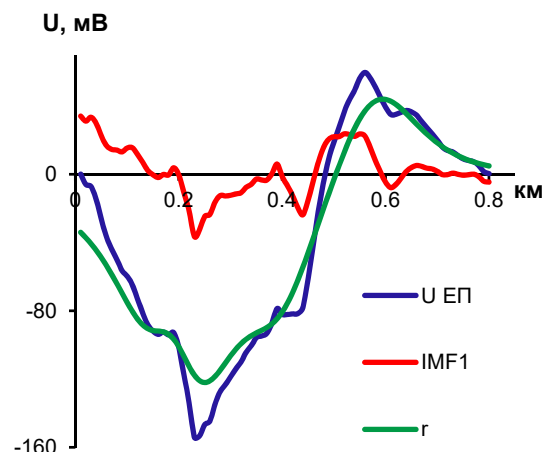


Рис.5. Разложение графика значений потенциала естественного поля на функции IMF и остаток r

Для более отчетливого выделения скрытых закономерностей изменения амплитуды поля КС ранее (3, 5, 7) при интерпретации предварительно выполнялось быстрое вейвлет-преобразование (БВП) дискретных значений кажущегося сопротивления с помощью программы НААР_2 (1). Программа реализует сжатие сигнала, представленного в виде значений амплитуд, с использованием разложения в базисе Хаара. Выполнение БВП для сглаживания графиков наблюдаемых значений потенциала естественного поля (U ЕП) не давало желаемого результата по причинам достаточно подробно описанным выше. Программа RIMF позволила выполнить разложение графика U ЕП на 1 IMF и остаток r .

Полученную функцию IMF можно использовать, как фоновую составляющую или просто очистить от помех график наблюдаемых значений потенциала U ЕП (рис.5).

Полученные при использовании EMD функции, как и у большинства алгоритмов разложения, в действительности не являются исходными процессами, из которых реально была сформирована исследуемая последовательность данных. Это как бы синтетические компоненты, выделение которых просто помогает лучше понять структуру входной последовательности и во многих случаях позволяет упростить ее анализ. Любые преобразования требуют проверки на соответствие содержательному смыслу.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект 19-05-00654 А).

Библиографический список:

1. Долгаль А.С. Применение кратномасштабного вейвлет-анализа при аналитических аппроксимациях геопотенциальных полей / А.С. Долгаль, А.А. Симанов // Докл. Акад. наук. 2008. Т. 418, № 2. С. 256–261.
2. Долгаль А.С. Применение эмпирической модовой декомпозиции при обработке геофизических данных / Долгаль А.С., Христенко Л.А. // Изв. Томского политехнич. ун-та. Инжиниринг ресурсов. 2017. Т. 328. № 1. С. 100–108.
3. Христенко Л.А., Степанов Ю.И., Кичигин А.В., Паршаков Е.И., Тайницкий А.А., Ширяев К.Н. Совершенствование интерпретации данных мониторинговых электроразведочных наблюдений с помощью аппарата теории оценок // Инженерная геофизика 2017: материалы 13-й науч.-практ. конф. и выставки. – Кисловодск, 2017. DOI 10.3997/2214-4609.201700419. Электрон. изд. режим доступа:
<http://www.earthdoc.org/publication/publicationdetails/?publication=88140>. Code 129037.
4. Dolgal A. S. Allowance for the Earth's Surface Topography in Processing the Magnetic Field Measurements // Practical and Theoretical Aspects of Geological Interpretation of Gravitational, Magnetic and Electric Fields: Proceedings of the 45th Uspensky International Geophysical Seminar, Kazan, 2019. pp. 105-112.
5. Hristenko L., Stepanov Yu., Kichigin A., Parshakov E., Tainitsky A., Ширяев К. Interpretation of electroprospecting monitoring observations with use of probabilistic-statistical characteristics // Engineering and mining Geophysics 2018: 14th Conference & Exhibition, 23–27 april 2018. Almaty, 2018. code 137600.
6. Huang N.E., Shen Z., Long S.R., Wu M.C., Shih H.H., Zheng Q., Yen N.-C., Tung C.C., Liu H. H. The empirical mode decomposition and the Hilbert spectrum for nonlinear and non-stationary time series analysis // Proceedings of the royal society A-Mathematical physical and engineering sciences. 1998. V. 454, № 1971. P. 903–995. DOI: 10.1098/rspa.1998.0193
7. Khristenko L. A., Stepanov Ju. I., Kichigin A. V., Parshakov E. I., Tainitskiy A. A. and Shiryayev K. N. Using of Probabilistic-Statistical Characteristics in the Interpretation of Electrical Survey Monitoring Observations // Practical and Theoretical Aspects of Geological Interpretation of Gravitational, Magnetic and Electric Fields: Proceedings of the 45th Uspensky International Geophysical Seminar, Kazan, 2019. pp. 313–320.

МЕТОДИКА СОЗДАНИЯ ТРЕХМЕРНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ В ПРОГРАММЕ SURPAC

Рассмотрены вопросы использования информационных технологий при создании и эксплуатации автоматизированных систем управления горными работами для предприятий

Ключевые слова: база геопространственных данных, скважины, цифровые модели.

I.V. Ogorodova
Perm State University, irinaog@mail.ru

GEOLOGICAL 3D MODEL BUILDING BY SURPAC

The questions of the use of information technology in the creation and operation of automated control systems for mining operations for companies

Key words: geospatial data base, wells, digital models.

Создание трехмерных моделей геологических объектов является необходимым элементом при проектировании и при разработке месторождений. Задача достоверного и качественного трёхмерного моделирования актуальна для подсчета запасов, проектирования карьеров (Давид, 2010; Бурданова, 2009). В данной части рассмотрены особенности работы в горно-геологическом пакете ПО Geovia Surpac. Целью данной работы является рассмотрение общей структуры процесса создания трехмерных геологических моделей.

Методика создания геологических моделей состоит из нескольких этапов. Она включает:

- создание базы данных для хранения первичной информации по данным геологической разведки. Геологическая база данных – один из наиболее важных модулей программы Surpac, является основой всех построений и расчетов. Surpac использует модель реляционной базы данных (связанные таблицы).
- импортирование данных в созданную базу (данные устьев скважин, инклинометрии, литологии, геологического опробования, геофизических исследований скважин) исправление ошибок и заверка базы данных.
- визуализация скважин в трехмерном пространстве, согласно заданным стилям (рис. 1). Объектом для визуализации может быть литология, содержание полезного компонента, метки. Для числовых данных, таких, как содержание полезного компонента, можно для наглядности изображать вдоль ствола скважины графики различных типов. Графики, так же, как и значения содержаний, показываются на экране в соответствии с цветовой гаммой, определенной пользователем заранее;

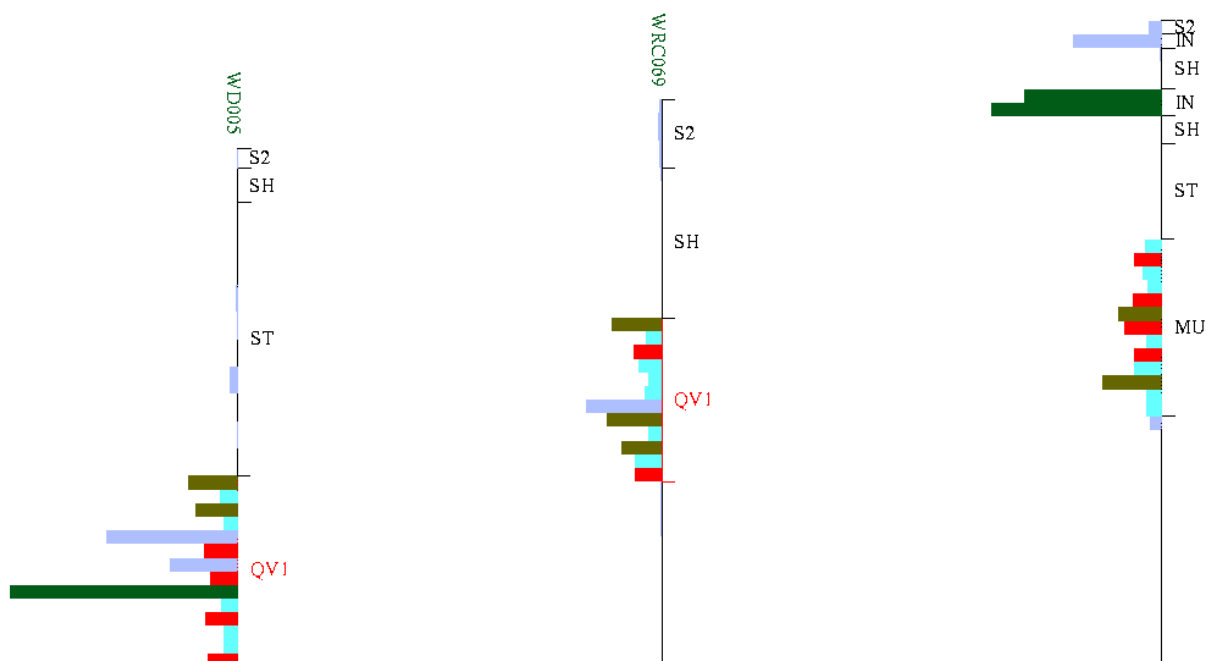


Рис. 1. Визуализация скважин в трехмерном пространстве

- выделение и оконтуривание рудных и нерудных интервалов по данным литологии и уточнение рудных интервалов по значениям бортового содержания, уточнение границ пространственного размещения пород, с учетом тектонических нарушений, а также по данным геофизических исследований скважин;
- создание разрезов. В программе Surpac можно строить различные разрезы – вертикальные, горизонтальные, наклонные, произвольные, разрезы по конкретным координатам;
- каркасное моделирование – выделение рудных тел (рис. 2);

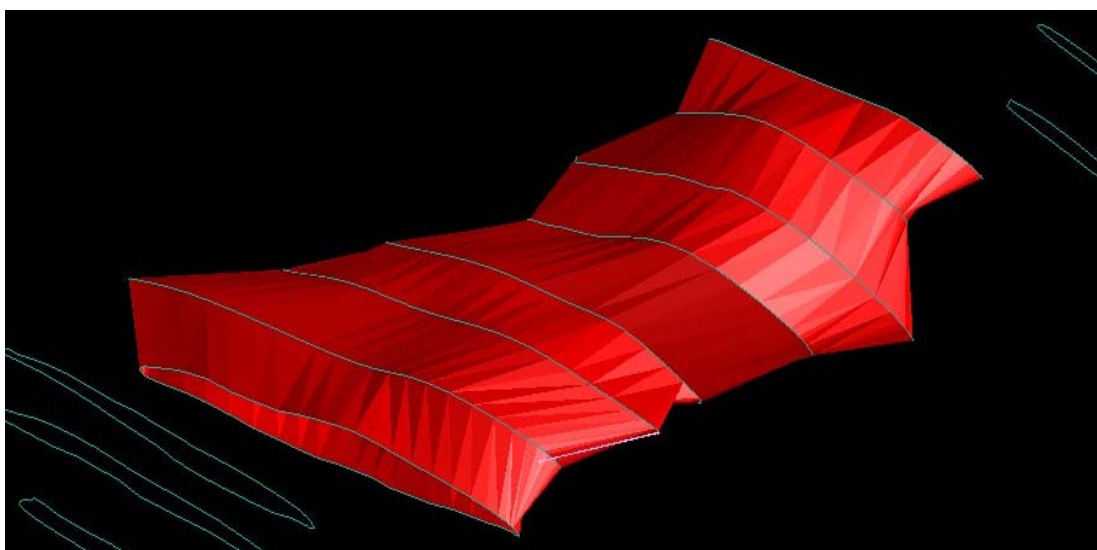


Рис. 2. Каркасная модель рудного тела

- создание пустых блочных моделей;
- создание композитов (рис. 3);

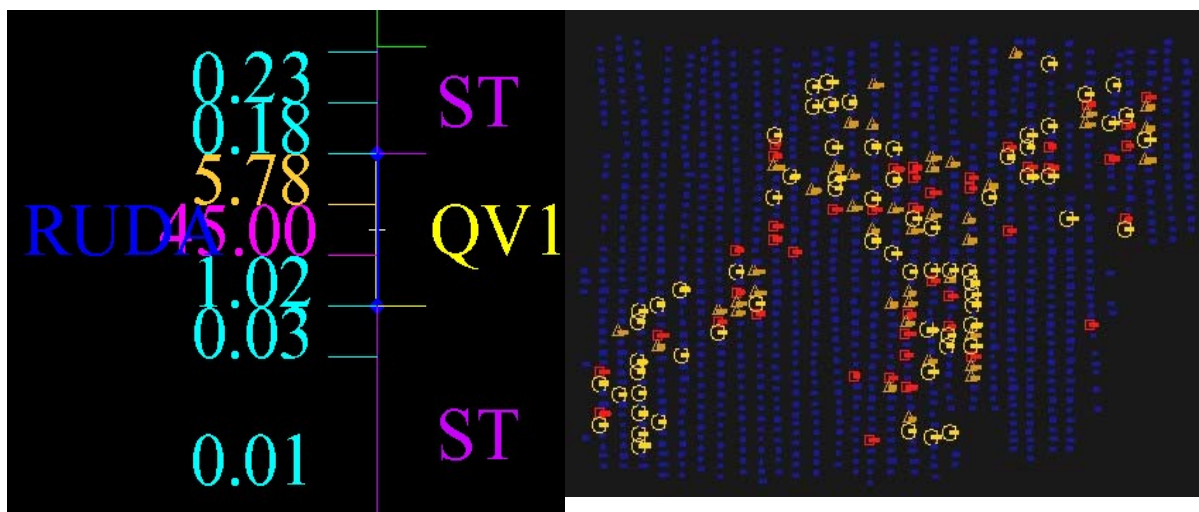


Рис. 3. Отображение композитов в трехмерном пространстве в виде графики

- геостатистический анализ данных, включающий построение гистограмм, вариограмм, усечение ураганных проб (рис. 4), определение законов пространственной изменчивости геологических характеристик компонентов;

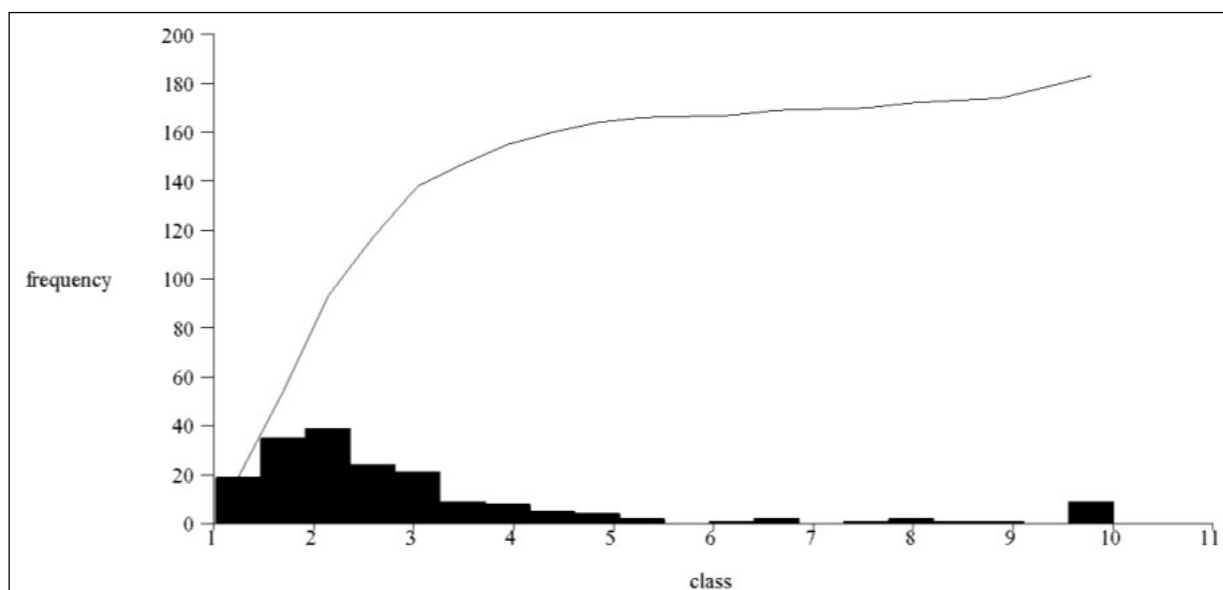


Рис. 4. Гистограмма с усеченными ураганными пробами

- завершающим этапом для создания моделей является интерполяция содержания полезных компонентов блочной модели математическими методами. При моделировании распределения компонентов учитывается большое число факторов: характер изменчивости геологических характеристик, структура и морфология месторождения, густота и равномерность разведочной сети. В связи с этим используются различные методы пространственной интерполяции: полигональный, обратных расстояний в степени IDW, крайгинга в различных модификациях

- уточнение контуров распространения пород в месторождении по заданным кондициям.

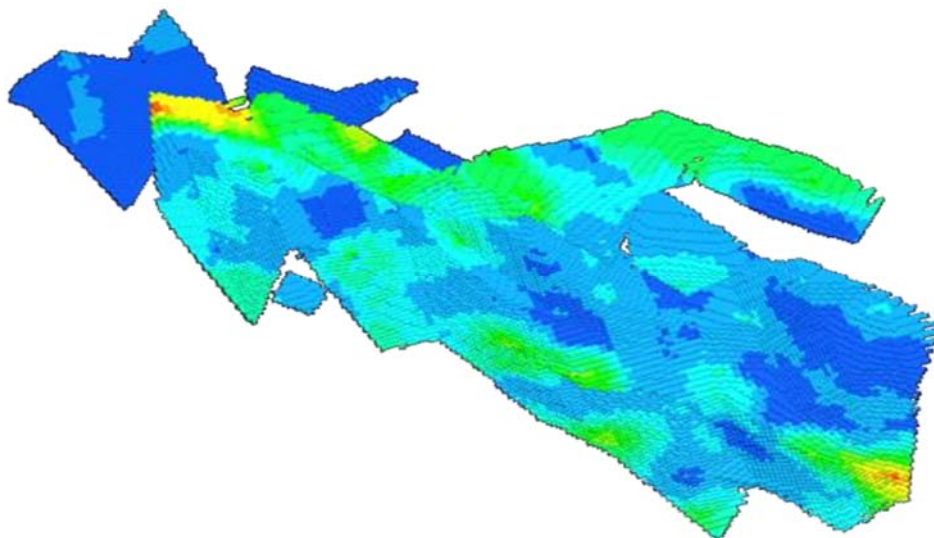


Рис. 5. Блочная модель, ограниченная каркасной моделью и раскрашенная по содержанию золота

Последовательность формирования моделей месторождений различных видов полезных ископаемых имеет существенные отличия на этапе интерпретации данных разведки (Купутин, 2002). Во всех остальных аспектах методика моделирования практически идентична и может лишь незначительно меняться (Морозов, 1999). Созданная трехмерная модель в дальнейшем может быть использована для подсчета запасов месторождения.

Библиографический список:

1. Давид М. Геостатистические методы при оценке запасов руд: пер. с англ. Л.: «Недра». 2010. 360 с.
2. Бударова В. А. Опыт создания карт 3D сейсморазведки с использованием геоинформационных технологий // ГЕО-Сибирь-2009. V Междунар. науч. конгр. : сб. материалов в 6 т. (Новосибирск, 20–24 апреля 2009 г.). Новосибирск: СГГА, 2009. Т. 1, ч. 1. С. 187–191.
3. Купутин Ю. Е. Горные компьютерные технологии и геостатистика. СПб.: «Недра». 2002. 424 с.
4. Морозов К. В. Комплекс программ построения геолого-геометрической модели месторождения. Горная Геомеханика и Маркшейдерское дело. СПб.: ВНИМИ, 1999. 85 с.

АНАЛИЗ ТРАДИЦИОННОГО И АЛЬТЕРНАТИВНОГО ПОДХОДОВ К РЕШЕНИЮ ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ ВЭЗ

Интенсивные помехи являются неотъемлемой частью получаемых полевых данных. В данной статье рассматривается эффективность традиционного и альтернативного подходов к решению обратной задачи ВЭЗ, на примере кривой ВЭЗ, осложненной помехой с нормальным законом распределения.

Ключевые слова: обратная задача ВЭЗ, помеха, минимизация эмпирического риска.

A.A. Tainitskii

Mining Institute, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, tainickiy@mail.ru

ANALYSIS OF THE TRADITIONAL AND ALTERNATIVE APPROACHES TO THE SOLUTION OF THE REVERSE PROBLEM OF VES

Intense noise is an integral part of the field data received. This article discusses the effectiveness of the traditional and alternative approaches to solving the inverse problem of VES, on the example of the VES curve, complicated by noise with the normal distribution law.

Key words: inverse VES problem, noise, minimization of empirical risk.

Вертикальное электрическое зондирование (ВЭЗ), впервые предложенное Конрадом Шлюмберже в 1912 г., до сих пор является одним из наиболее часто используемых методов электроразведки (Колесников В.П., 2007). Это обусловлено простотой полевых измерений, высокой производительностью работ и их относительно небольшой стоимостью. Метод ВЭЗ позволяет решать широкий круг задач, связанных как с поисками и разведкой полезных ископаемых, так и с инженерно-геологическими, экологическими и другими видами изысканий (Матвеев Б.К., 1990).

Одним из параметров определяющих качество получаемых результатов при геофизических исследованиях является точность полевых измерений. Для методов сопротивлений в электрометрии данная величина регламентирована «Инструкцией по электроразведке» и составляет 5 %. Однако, большая часть геофизических наблюдений выполняется в сложных физико-геологических условиях, когда уровень помех от приповерхностных неоднородностей, различных коммуникаций и техногенных электромагнитных полей не только превышает 5 % барьер, но иногда сопоставим с уровнем полезного сигнала. Все эти факторы существенно ухудшают качество получаемого материала.

Наиболее распространенный подход к количественной интерпретации ВЭЗ, заключается в последовательном уточнении начального приближения к вектору параметров $\mathbf{q} = \{\rho_1, \rho_2, \dots, \rho_N, h_1, h_2, \dots, h_{N-1}\}$ геоэлектрического разреза, который обеспечивает минимум целевой функции. В качестве целевой функции f обыч-

но используют среднеквадратическое расхождение экспериментальных ρ_k^{\exists} и теоретических ρ_k^T значений кажущихся электрических сопротивлений для всех M разносов линии АВ:

$$f = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M [(\rho_{ki}^{\exists} - \rho_{ki}^T) / \rho_{ki}^T]^2 \quad (1),$$

что не всегда эффективно при интерпретации «зашумленных» данных.

Для повышения достоверности получаемых результатов в условиях интенсивных знакопеременных помех предлагается метод количественной интерпретации кривых ВЭЗ, получивший название – минимизации эмпирического риска (МЭР), который сочетает в себе достоинства функционально-аналитического и вероятностно-статистического подходов.

Основной смысл метода заключается в том, что имеется некоторый объем (детерминистской) априорной информации I и множество вариантов интерпретации D , не противоречащих этой информации. Множество D рассматривается как область определения случайного вектора w , описывающего возможные значения неизвестных параметров геоэлектрического разреза. Если построить функцию $P(w)$ плотности вероятностей вектора w на множестве D , это позволит понизить уровень неопределенности за счет ранжирования допустимых решений (Балк П.И., 2011, 2016).

Функция распределения плотности вероятности строится на допущении свойства помехи $Me(\eta) = 0$, которое указывает лишь на то, что нет объективных причин превалирования помех с каким либо знаком в исходных данных. На этом же принципе основано разбиение D на систему взаимно пересекающихся подмножеств Ω_r (Балк П.И., 2011).

Минимум эмпирического риска обеспечивается вектором w^* с компонентами:

$$w^* = \sum_{r=1}^l p_r \bar{w}_{r,j}, j = 1, 2, \dots, m \quad (2),$$

$$\text{где } \bar{w}_{r,j} = \frac{1}{\mu(\Omega_r)} \int_{\Omega_r} w_j dw_1 dw_2 \dots dw_m \quad (3),$$

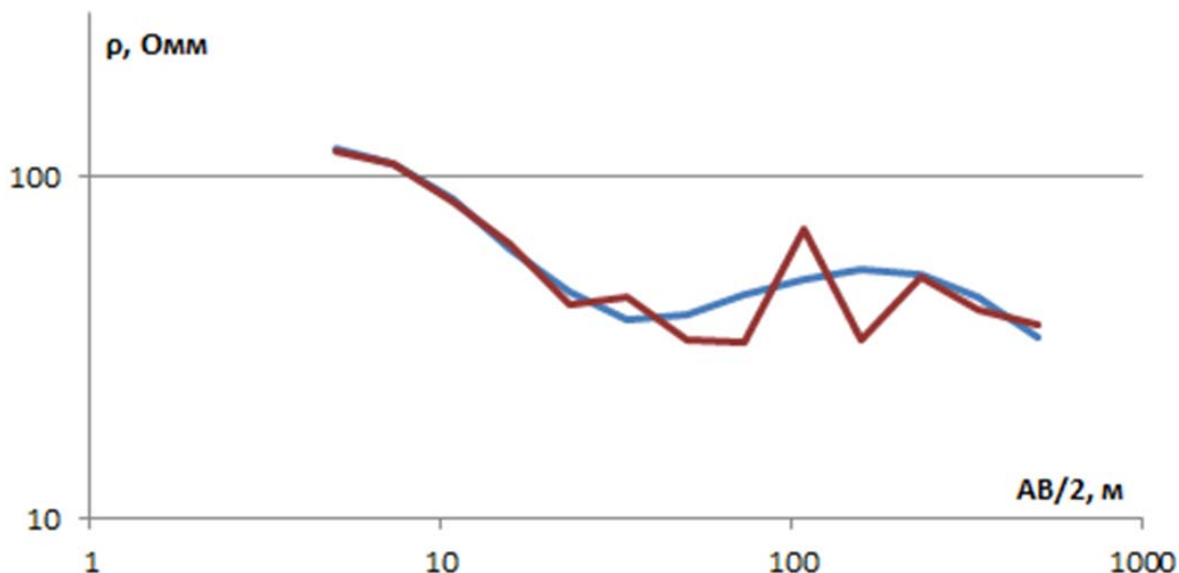
где μ – классическая мера Лебега.

Отличительной особенностью метода МЭР является способность к подавлению интенсивных знакопеременных помех, закон распределения которых может заметно отличаться от нормального, а также возможность оценки точности определения петрофизических параметров изучаемых объектов за счет использования мало известного в геофизических приложениях критерия выбора наилучшего решения по минимуму математического ожидания его погрешности.

Для сравнения эффективности традиционного и альтернативного подходов к решению обратной задачи ВЭЗ в условиях помех была смоделирована случайная помеха, основанная на преобразовании Бокса-Мюллера, которая характеризуется нормальным законом распределения $N(0, 10)$. В качестве примера ис-

пользована кривая ВЭЗ типа НК, рассчитанная для четырехслойного геоэлектрического разреза, с параметрами, приведёнными в таблице 3 (колонки 1 и 2). Пример частной кривой ВЭЗ осложненной помехой отражен на рис. 1. Далее будут использованы обозначения $F_{МСО}$ и $F_{МЭР}$ для результатов, полученных традиционным методом минимизации среднеквадратического отклонения (МСО) и методом МЭР, соответственно.

Рис.1. Кривая ВЭЗ: 1) синий – модель, 2) красный – частная модель, осложненная помехой.



Если говорить об отношении амплитуды помехи к полезному сигналу, то следует отметить, что в отдельных случаях моделируемая помеха по абсолютному значению амплитуды достигала 100 % от полезного сигнала. Для более адекватной оценки рассчитано отношение среднеквадратичной амплитуды помехи к среднеквадратичной амплитуде полезного сигнала, которое, по сути, является аналогом классического энергетического соотношения шум/сигнал. По результатам расчетов данное отношение варьирует в интервале 10–50 % и в среднем составляет 15 %.

Таблица 1. Результаты решения обратной задачи

№ слоя	Параметры модели		$F_{МЭР}$		$F_{МСО}$	
	ρ , Ом·м	h , м	ρ , Ом·м	h , м	ρ , Ом·м	h , м
	1	2	3	4	5	6
1	130	6	130	4	120	6
2	30	25	28	20	24	30
3	70	130	70	120	85	160
4	20	-	16	-	24	-

Для простоты вычислений границы интервалов, в пределах которых осуществляется поиск решения, рассчитаны для условия, при котором минимальные значения составят 30 % от истинных, а максимальные – 130 %.

Для количественной оценки качества полученных результатов использованы несколько параметров:

1. Относительное отклонение полученных параметров разреза от истинных, где q – параметр разреза, сопротивление или мощность:

$$Q = \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{q_{i\text{мод}} - q_i^*}{q_{i\text{мод}}} \right)^2 \right)^{\frac{1}{2}} * 100 \quad (4)$$

2. Математическое ожидание погрешности (величины относительного отклонения) для метода МЭР:

$$J_0 = \sum_{j=1}^N P_{kj} \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{q_i^* - \bar{q}_{ij}}{q_i^*} \right)^2 \right)^{\frac{1}{2}} \quad (5),$$

где P_k – функция плотности вероятности принадлежности искомого решения j -му подмножеству, q_i^* – параметр разреза, полученный в результате решения обратной задачи (ОЗ), \bar{q}_{ij} – «центр тяжести» j -го подмножества i -го слоя (параметра разреза).

Для каждого из методов было рассчитано по 100 вариантов решения обратной задачи. Для каждого из вариантов моделировалась новая случайная последовательность помехи. В ходе эксперимента осуществлялся одновременный подбор полного вектора параметров (мощность и сопротивление каждого слоя). В результате полученный набор решений был представлен в виде гистограмм значений параметров для каждого слоя. В качестве примера на рисунке 1 приведены гистограммы распределения сопротивления и мощности третьего слоя.

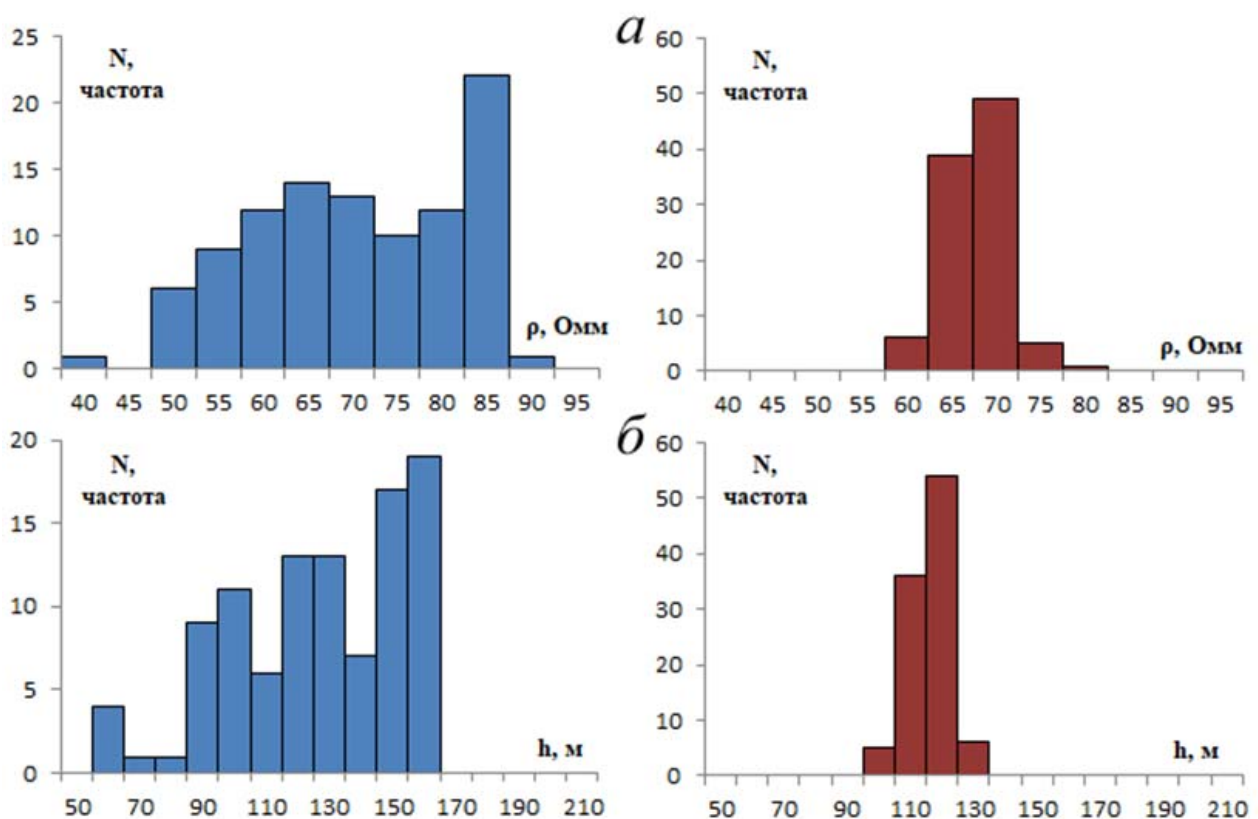


Рис.2. Гистограммы электрического сопротивления(а) и мощности (б), полученного методами МСО (голубой цвет) и МЭР(бардовый цвет) для третьего слоя разреза

Как видно из гистограмм, полученные распределения частот для серии решений обратной задачи методом МЭР, по сравнению с результатами МСО, имеют унимодальный характер и более узкий диапазон изменения значений сопротивления. Для данной задачи за искомый вариант решения приняты наиболее часто встречаемые (т.е. наиболее вероятные) параметры разреза. В таблице 1 приведены конечные результаты решения ОЗ. Колонки 1 и 2 отражают истинные параметры разреза, а в колонках 3 и 6 приведены средние значения параметров геоэлектрического разреза, полученные методами МСО и МЭР.

Параметр относительного отклонения полученных параметров разреза от истинных (Q) составил 17,9 % для МСО и 16,9 % для МЭР. Величина математического ожидания погрешности для метода МЭР составила J_0 - 11,3 %. Несмотря на близость полученных оценочных параметров Q для различных методов, гистограммы на рисунке 2 убедительно свидетельствуют о том, что МЭР обладает несомненными преимуществами перед традиционно используемым методом минимизации среднеквадратического отклонения и может повысить точность оценки удельных электрических сопротивлений изучаемого разреза при наличии помех в исходных данных.

Так же следует отметить, что несомненным достоинством метода МЭР является его способность оценивать точность собственных результатов (J_0). Анализ параметров Q и J_0 , выполненный А.С. Долгалем, показал, что значимая корреляционная связь между ними отсутствует, однако статистическое распределение разностей $Q - J_0$ близко к нормальному закону распределения с нулевым математическим ожиданием и сравнительно небольшим значением дисперсии (Балк П.И., 2011). Иначе говоря, порядок значений параметров истинной и прогнозируемой точности решения ОЗ очень близкий, что позволяет приблизительно оценивать качество полученного решения.

Таким образом, реализованный алгоритм подбора полного вектора параметров геоэлектрического разреза (сопротивление и мощность слоев) методом МЭР позволяет эффективно подавлять случайные помехи, амплитуда которых в отдельных случаях может достигать значений, сопоставимых с амплитудой полезного сигнала.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 18-35-00320).

Библиографический список:

1. Балк П.И., Долгаль А.С., Мичурин А.В. Смешанные вероятностно-детерминистские методы решения линейных обратных задач гравиметрии и магнитометрии / Геофизика. 2011. № 2. С. 20–29.
2. Балк П.И., Долгаль А.С., Мичурин А.В. Смешанный вероятностно-детерминистский подход к интерпретации данных гравиразведки, магниторазведки и электроразведки / Доклады Академии наук. Т. 438. № 4. 2011. С. 532–537.
3. Балк П.И., Долгаль А.С., Мичурин А.В., Тайницкий А.А., Христенко Л.А. Подавление знакопеременных помех при инверсии данных вертикального электрического зондирования / Вестник Пермского университета. Геология. 2016. Вып. 2 (31). С. 55–63.
4. Колесников В.П. Основы интерпретации электрических зондирований М.: Научный мир, 2007. 248 с.
5. Матвеев Б.К. Электроразведка. М.: Недра, 1990. 368 с.

ОСОБЕННОСТИ СОЗДАНИЯ ЦИФРОВЫХ МОДЕЛЕЙ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ ГЕОСТАТИСТИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

Рассмотрены основные аспекты геостатистического подхода к построению цифровых моделей геофизических полей. Приведен пример создания регулярно-ячеистой модели гравитационного поля в геоинформационной системе ArcGIS (ESRI Inc.).

Ключевые слова: геофизические поля, цифровые модели, геостатистические методы интерполяции, геоинформационная система ArcGIS.

I.Iu. Mitunina
Perm State University, bsg-home@mail.ru

SPECIAL ASPECTS OF GEOSTATISTICAL MODELING OF GEOPHYSICAL FIELDS

The main aspects of the geostatistical approach to the construction of digital models of geophysical fields are considered. An example of the creation of a regular-cellular model of the gravity field in the geographic information system ArcGIS (ESRI Inc.) is given.

Key words: geophysical fields, digital models, geostatistical methods of interpolation, geographic information system ArcGIS.

Обязательным условием эффективности компьютерных технологий обработки и интерпретации геофизических полей является формирование максимально точной цифровой модели поля. При этом, процесс моделирования, как правило, проводится с использованием ограниченного набора измерений, полученных зачастую по нерегулярной сети наблюдений. Кроме того, исходные данные обычно отягощены случайными помехами, обусловленными погрешностью измерительной аппаратуры и другими факторами негеологического характера, а моделирование осуществляется в условиях отсутствия абсолютных данных о морфологии поля.

Для создания регулярно-ячеистых моделей геофизических полей по нерегулярному набору данных применяются детерминированные (детерминистические) и геостатистические методы интерполяции.

Методы детерминированной интерполяции основаны на предположении, что значения поля являются неслучайной функцией координат и однозначно зависят от местоположения пунктов измерений. Они используют для вычисления значений поля в узлах сети математические функции, базирующиеся на оценке степени схожести значений в измеренных точках или на уровне сглаживания поля (2).

Геостатистические методы (семейство кригинг) используют в качестве базовой аддитивную модель картируемого поля:

$$Z(s) = \mu(s) + \varepsilon(s), \quad (1)$$

где $Z(s)$ – значение поля в точке с координатой s , $\mu(s)$ – детерминированный тренд, а $\varepsilon(s)$ – случайная составляющая поля. При этом, в отличие от вероятностных моделей, случайная компонента рассматривается как пространственно коррелируемая и оценивается с помощью вариограммы:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2n} [\varepsilon(s+h) - \varepsilon(s)]^2, \quad (2)$$

где $\varepsilon(s)$ и $\varepsilon(s+h)$ – случайные компоненты поля в пунктах, отстоящих друг от друга на расстояние h , а n – количество пар точек измерения.

Используя статистические свойства значений поля в измеренных точках (вариограмму) для расчета значений в интерполируемых точках, геостатистические методы позволяют не только создавать цифровые модели полей в виде прогнозных оценок поверхностей интерполяции, но и оценивать точность таких интерполяций (1-3).

В зависимости от допущений, накладываемых на морфологию поверхности тренда, выделяют:

- ординарный кригинг (*Ordinary Kriging*) – μ является неизвестной константой;
- простой кригинг (*Simple Kriging*) – μ – известная константа;
- универсальный кригинг (*Universal Kriging*) – $\mu(s)$ – любая детерминированная функция.

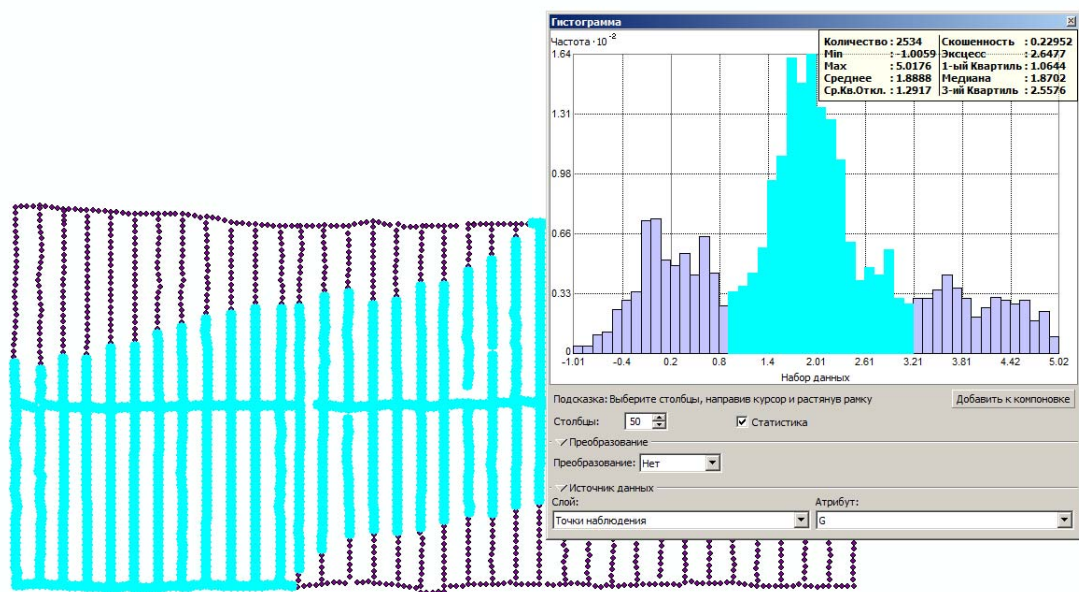
Технология построения цифровых моделей геостатистическими методами, реализованная в модуле Geostatistical Analyst геоинформационной системы ArcGIS (ESRI Inc.), включает (4):

- 1) изучение исходных данных с помощью инструментов исследовательского анализа пространственных данных, что позволяет выбрать наиболее подходящий метод и параметры для модели интерполяции;
- 2) построение модели интерполяции и оценка качества карты проинтерполированных значений.

В ходе исследовательского анализа (ESDA) оценивается характер распределения исходных данных, выявляются некоторые особенности их пространственного распределения – присутствие глобальных трендов, локальной вариации, проводится анализ общей автокорреляции данных.

К примеру, построение графика плотности распределения значений гравитационного поля (рис. 1), измеренных в 2534 точках профильных наблюдений на одном из участков Соликамской депрессии, показывает, что характер распределения данных существенно отличается от нормального. При этом отмечается явная приуроченность отдельных мод гистограммы к определенным участкам территории, что является косвенным признаком наличия в данных трендовой составляющей.

Проведенный анализ (рис. 2) позволил выявить в исходных данных глобальный тренд, который может быть аппроксимирован в плоскостях XZ и YZ полиномами 1 или 2 степени.



♦ Точки наблюдения

Рис. 1. Анализ плотности распределения данных (выделены точки измерения со значениями поля, соответствующие одной моде гистограммы)

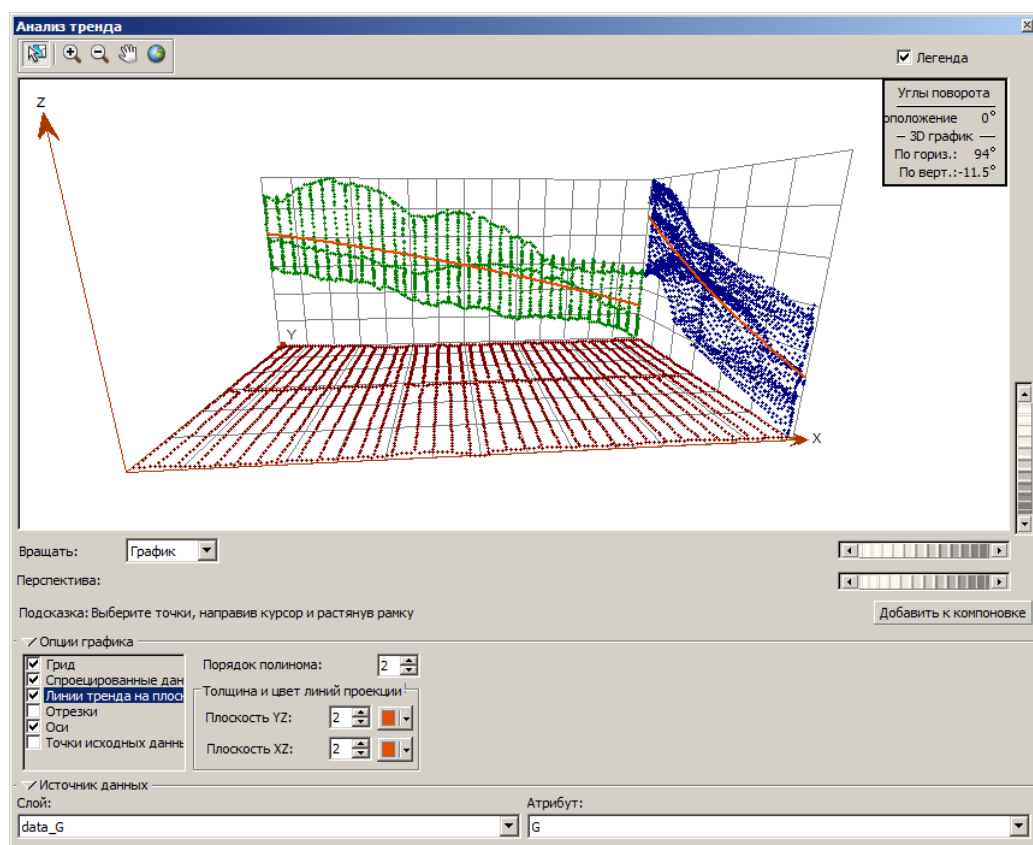


Рис. 2. Анализ тренда

Исходя из этого, построение геостатистической модели интерполяции осуществлялось методом универсального кригинга в несколько этапов:

- удаления трендовой составляющей поля;
- моделирование вариограмм и выбор эллипса поиска (рис. 3);
- расчет поверхностей интерполяции и ошибок прогнозирования.

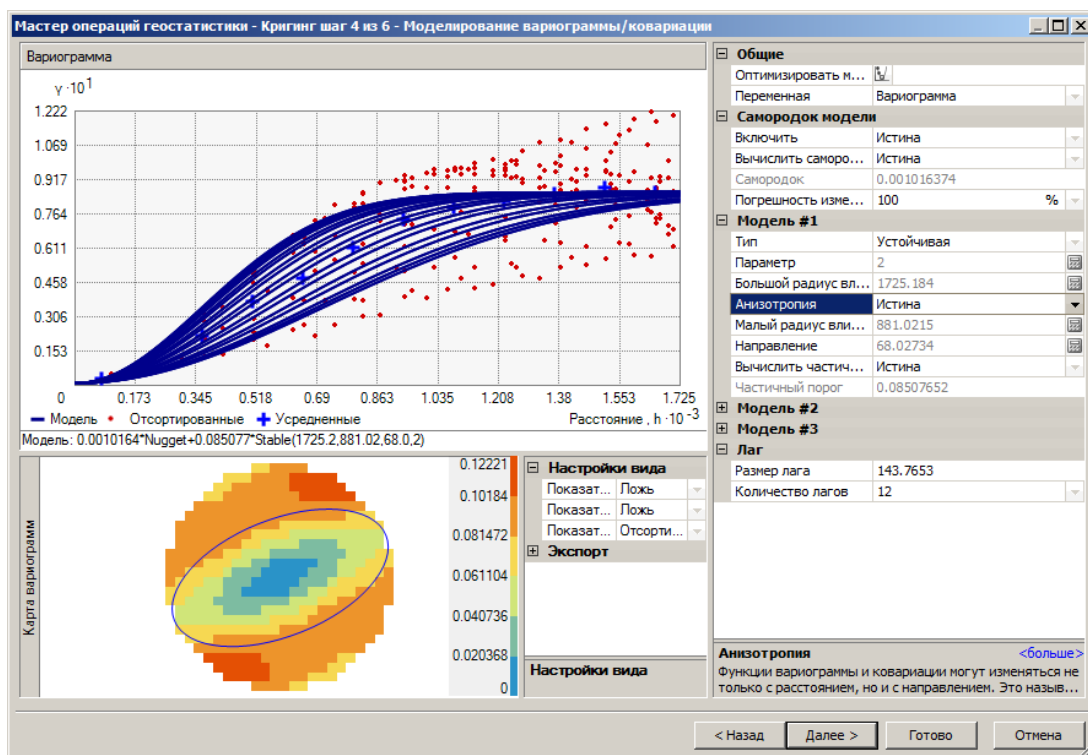


Рис. 3. Моделирование вариограмм и выбор эллипса поиска

Перекрестная проверка результатов интерполяции (рис. 4), полученных при линейном тренде (Кригинг_2) и полиномиальном тренде второго порядка (Кригинг_3), показала, что обе цифровые модели гравитационного поля допустимы и сопоставимы по качеству: нормированные средние ошибки интерполяции близки к 0, а среднеквадратичные ошибки близки к средним стандартным ошибкам интерполяции. Однако наиболее оптимальной является цифровая модель гравитационного поля, созданная с учетом полигонального тренда и представленная на (рис. 5).

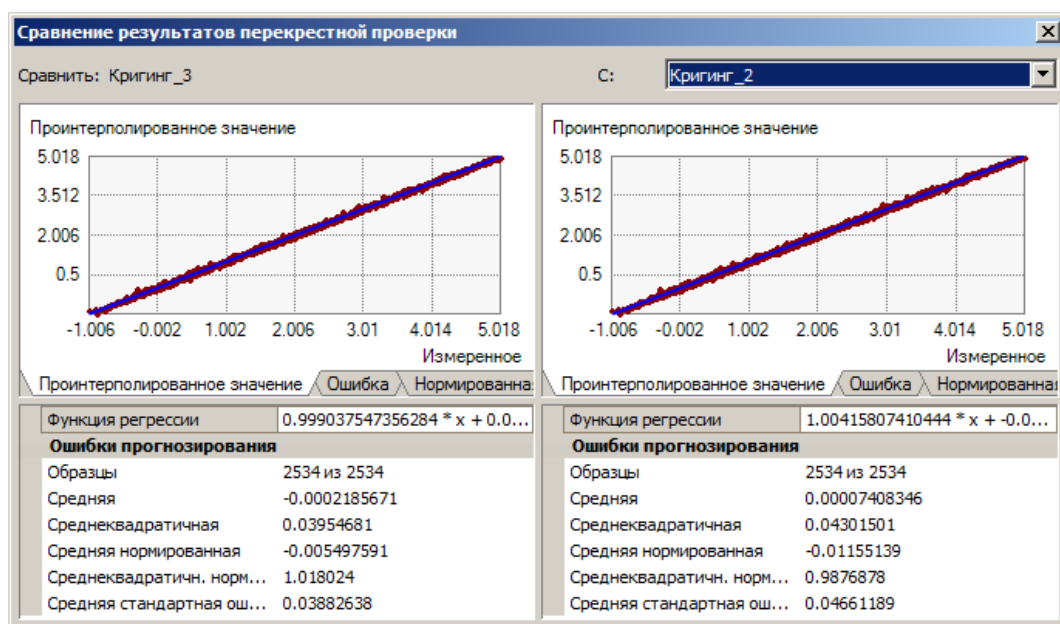


Рис. 4. Сравнительный анализ результатов интерполяции

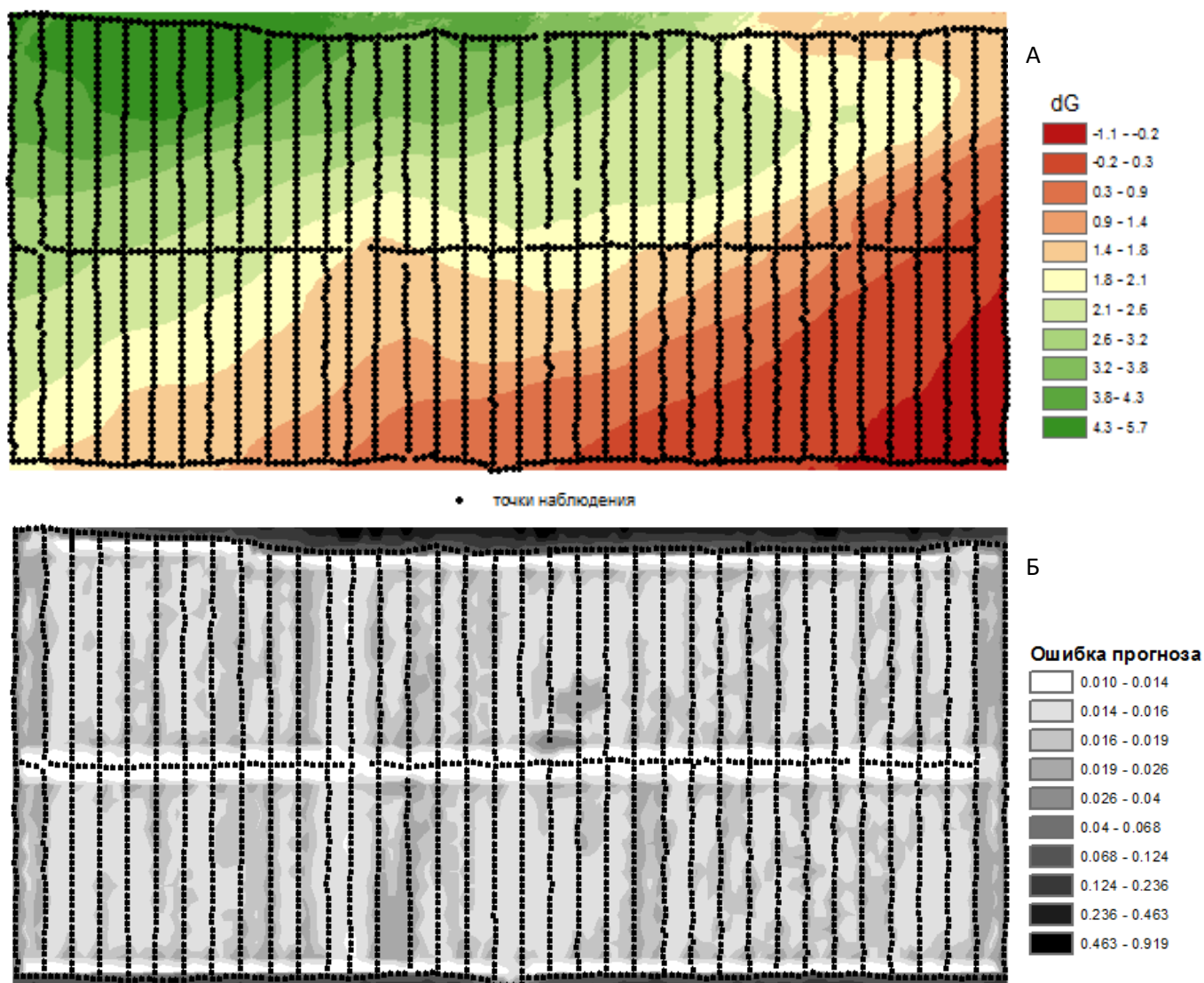


Рис. 5. Карты прогнозных оценок гравитационного поля (А) и стандартных ошибок прогнозирования (Б)

Таким образом, для формирования корректной цифровой модели поля необходим тщательный анализ исходных данных, выявление трендовой составляющей поля, моделирование вариограмм и перекрестная проверка результатов интерполяции.

Библиографический список:

1. Демьянов В.В., Савельева Е.А. Геостатистика. Теория и практика. М.: Наука, 2010. 327 с.
2. Дьяконов В.В., Жорж Н.В. Компьютерные методы обработки геологической информации: Учеб. пособие. М.: РУДН, 2008. 266 с.
3. Дюбрул О. Использование геостатистики для включения в геологическую модель сейсмических данных. EAGE, 2007. 296 с.
4. Руководство пользователя ArcGIS (Электронный ресурс). <http://desktop.arcgis.com/ru/arcmap/10.5/extensions/geostatistical-analyst/>

ОБЗОР СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ ИЗУЧЕНИЯ ВЧР

Многообразие подходов к учету верхней части разреза в сейсморазведке в значительной степени связано с дефицитом информации о ее скоростном строении, которое к тому же обычно отличается в различных регионах. В настоящее время существует множество методов и их комбинаций, позволяющих изучать верхнюю часть разреза. Тем не менее, вопрос разработки универсального метода, позволяющего с высокой точностью рассчитать априорные статические поправки для районов с различным геологическим строением, остается открытым и не решенным на сегодняшний день.

Ключевые слова: сейсморазведка, верхняя часть разреза, микросейсмокаротаж, метод преломленных волн, поверхностные волны, первые вступления.

N.V. Kulakova
Perm State University, kulakva@gmail.com

A REVIEW OF EXISTING METHODS OF STUDYING THE UPPER PART OF THE SECTION

The diversity of approaches to accounting for the upper part of the section in seismic exploration is largely due to the lack of information about its speed structure, which is also usually different in different regions. Currently, there are many methods and their combinations to study the upper part of the section. However, the question of developing a universal method to calculate a priori static corrections with high accuracy for areas with different geological structures remains open and unresolved today.

Key word: seismic, the upper part of the section, microseismometer, method of refracted waves, surface waves, first entry.

Многообразие подходов к учету верхней части разреза в сейсморазведке в значительной степени связано с дефицитом информации о ее скоростном строении, которое к тому же обычно отличается в различных регионах. Поэтому разными авторами предлагаются различные технологии учета скоростных неоднородностей ВЧР как на этапе полевых работ, так и при обработке (Митюнина и др., 2011).

Одним из способов получения информации о ВЧР является бурение скважин, освещающих неоднородные поверхностные отложения желательного до уровня предполагаемой стабилизации скоростей. *Микросейсмокаротаж (МСК)* обеспечивает выделение основных слоев ВЧР и определение пластовых скоростей в них (Козырев, 2003).

Считается, что более точные результаты получают при использовании обращенного сейсмокаротажа, когда возбуждение упругих колебаний производится в скважине. Появляется возможность изучения горизонтального градиента ско-

ростей путем использования крестовых систем регистрации времен на поверхности в радиусе до 100 м и более (Спасский, 1990).

Необходимо отметить, что несмотря на достаточно хорошие результаты, у МСК, как и всех других методов есть свои недостатки. Значительное влияние на результаты сейсмокаротажа в ВЧР оказывают мелкие неоднородности, анизотропия пород ЗМС, а также возможные сезонные изменения свойств пород, связанные с положением уровня грунтовых вод (Спасский, 1990). Кроме того, появляются погрешности связанные с неточностями в определении глубины, времени, поправок во времена при приведении наблюдений к вертикали, с неоднозначностью разбивки вертикального годографа, с интерполяцией между скважинами (рис. 1).

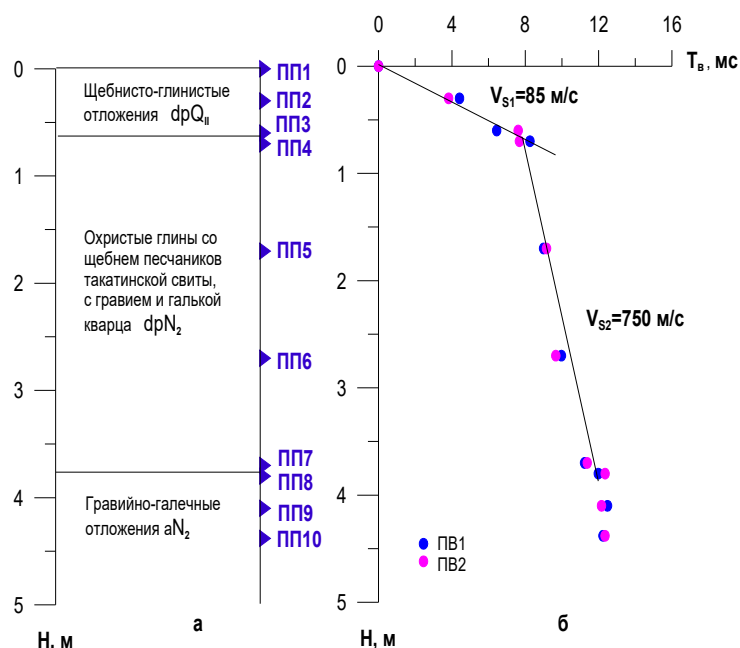


Рис. 1. Микросейсмокаротаж

Метод преломленных волн до последнего времени являлся основным средством изучения поверхностных неоднородностей. Чаще всего на практике наблюдения основаны на регистрации только первых вступлений; взрывы производятся в небольших шурфах (0,5 метров) либо в скважинах глубиной порядка 2 метров.

Обычно используется неравномерная расстановка сейсмографов с расстояниями возле пунктов взрыва до 1 – 2 метров, которые затем ступенеобразно увеличиваются до 10 – 20 метров (и более) в средней части интервала. Считается, что как минимум три сейсмоприемника должны регистрировать прямую волну (рис. 2).

Очень часто на малых расстояниях первыми к сейсмографам приходят звуковые волны, скорость которых сравнима со скоростями в самом верхнем слое, а иногда даже несколько больше их. Они отмечаются обратной полярностью вступлений. Чтобы избежать регистрации звуковых волн, рекомендуется получение дополнительных записей от взрыва одного – двух детонаторов, погруженных на небольшую глубину (20 – 40 сантиметров).

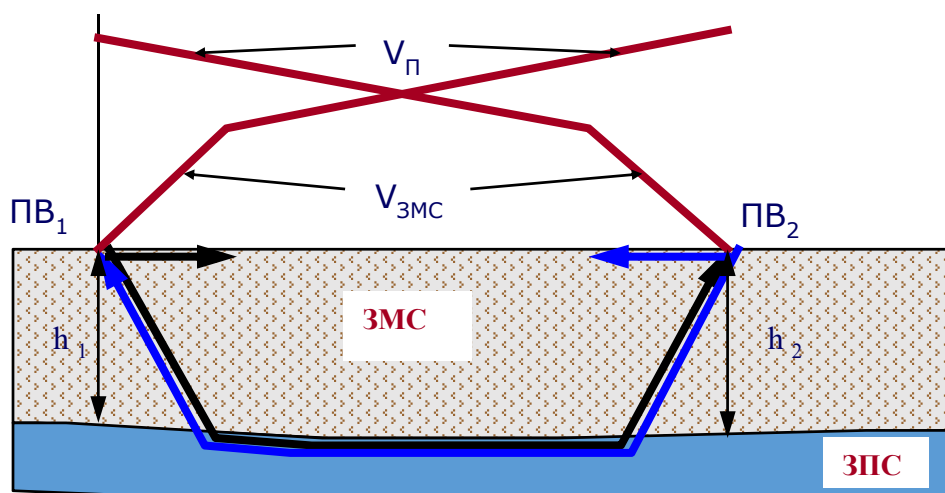


Рис. 2. Метод преломленных волн

Метод преломленных волн, который основан на регистрации первых вступлений, также не может обеспечить высокую точность при определении нескольких границ, которые наблюдаются при достаточно большой мощности зоны малых скоростей. Тем не менее, корреляционное прослеживание волн в последующих фазах наряду с регистрацией четких первых вступлений позволяет значительно повысить точность метода преломленных волн при изучении ЗМС. В частности, применение КМПВ позволяет более отчетливо разделить головные волны, соответствующие различным границам, обнаружить тонкие слои и избежать их экранирующего влияния, получить некоторые сведения о затухании различных волн (Спаский, 1990).

Усложнение модели строения ВЧР по сравнению со случаем простой ЗМС на коренных породах нередко приводит к тому, что однозначная интерпретация становится невозможной. Очень часто можно наблюдать ситуацию выпадения слоя. Это происходит в том случае, когда преломленная волна от какого-либо из слоев не выходит в первые вступления, при инверсии скорости. Малый интервал прослеживания волны в первых вступлениях вызывает низкую точность определения скорости в соответствующем слое. В таком случае, для того, чтобы построить корректную модель среды по преломленным волнам, необходимо использовать дополнительную информацию о скоростях в самой верхней части разреза. В последнее время отмечается широкое распространение использования *поверхностных волн* для решения такого рода задач в геофизике.

Качественная характеристика изменений в модели ВЧР по скоростям поверхностных волн может быть полезной для выделения зон неоднородностей. По тому, на каких длинах волн происходит наибольшее изменение скоростей, можно судить о предполагаемой глубине неоднородностей. Кроме того, определив параметры поверхностных волн, мы можем непосредственно перейти к анализу параметров объемных волн (рис. 3).

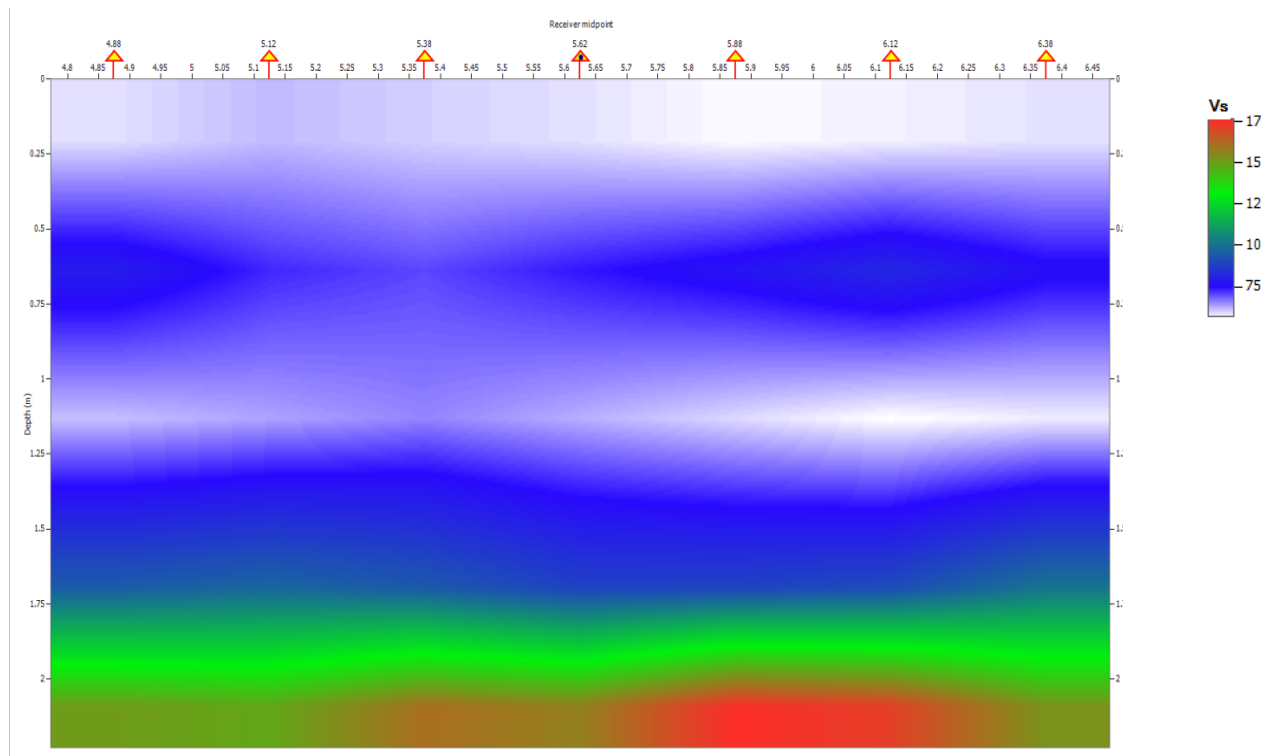


Рис. 3. Модель изменения поперечных скоростей в среде

При поверхностном возбуждении упругих колебаний более 2/3 части энергии уходит на образование низкоскоростных поверхностных волн Рэлея. В случае вертикального градиента скоростей каждая частотная компонента поверхностной волны распространяется со своей фазовой скоростью, т.е. скорость поверхностной волны является функцией частоты колебаний.

Глубина, на которую распространяются колебания поверхностной волны, пропорциональна длине волны (или обратно пропорциональна частоте). Высокочастотная волна быстро затухает и характеризует первый слой, в то время как низкочастотная распространяется глубже и дает характеристику более глубоких слоев (Кулакова, 2019).

В последние годы для изучения верхней части разреза широко используют *времена первых вступлений*, которые регистрируются на полевых сейсмограммах МОВ ОГТ. Преимущество этого метода заключается в том, что нет необходимости в проведении дополнительных полевых работ.

Традиционно обработка данных о первых волнах осуществляется в рамках классического подхода, применяемого в методе преломленных волн. По сейсмограммам отсчитываются времена первых вступлений t , строятся в отдельных точках x профиля годографы $t(L)$, L – расстояние между пунктом возбуждения (ПВ) и пунктом приема (ПП) (рис. 4). Затем, в зависимости от типа принятой при интерпретации скоростной модели среды (класса регистрируемых волн), для расчета скоростей и глубин используется тот или иной способ трансформации одиночных (или встречных) годографов МПВ. Однако, как показала практика, такой подход дает удовлетворительные по точности результаты лишь в случае простейших (двухслойных) моделей сред (Митюнина и др., 2003).

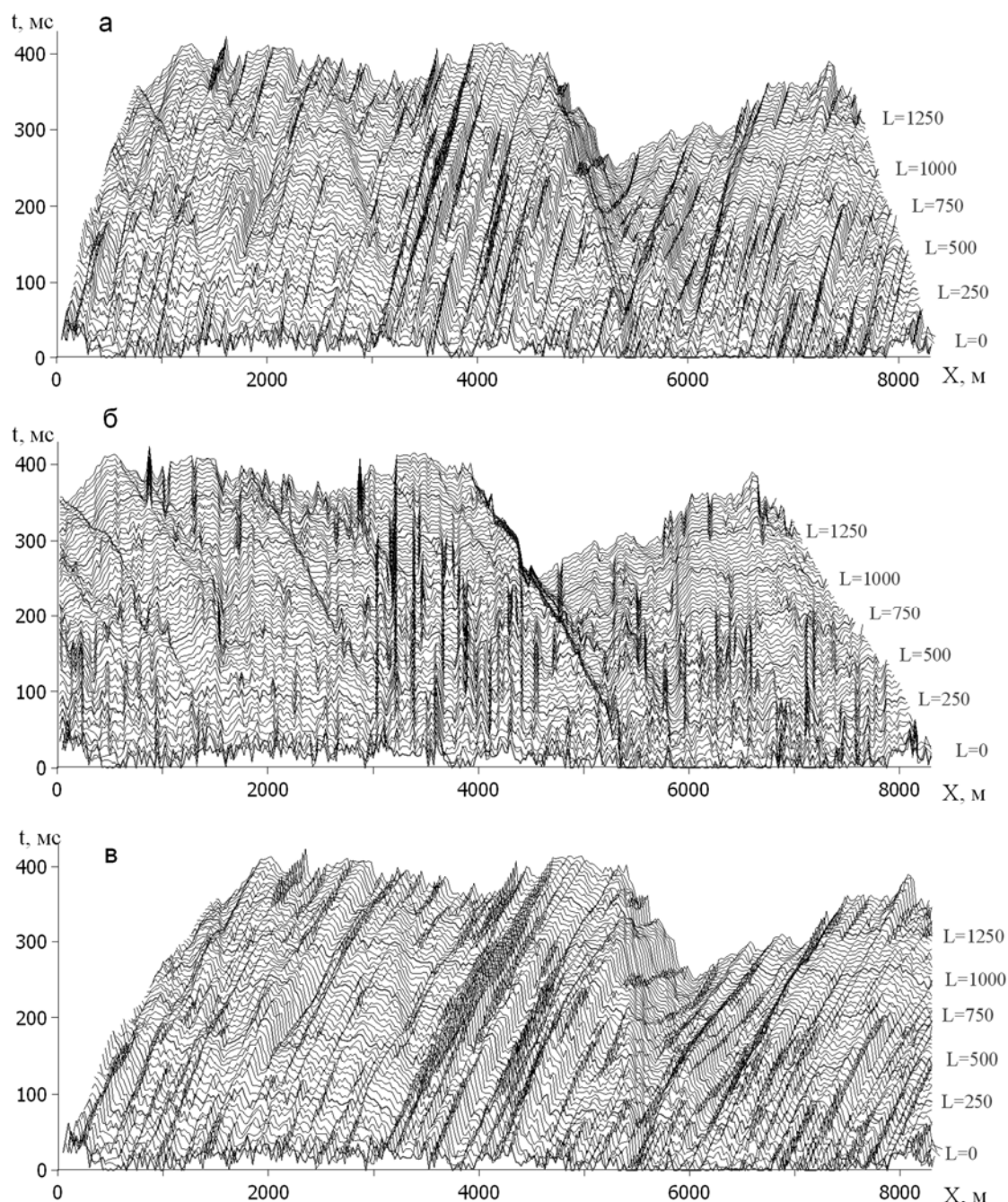


Рис. 4. Временные поля первых волн, сформированные по ОГТ (а), ОПВ (б) и ОПП (в) (Спаский, Митюнина 2007)

При изучении первых волн МОГТ, когда длина годографа превышает 1-2 км, в первых и, тем более, в последующих вступлениях регистрируются сложные группы колебаний (головные, рефрагированные, преломленно-рефрагированные, закритически отраженные и т.д.), образовавшиеся на разных границах раздела и сложным образом интерферирующих. Кроме того, большое влияние на характер волновой картины в этом случае оказывают особенности рельефа поверхности наблюдений, криволинейность сейсмических профилей, конфигурация преломляющих границ, явление рефракции лучей, «дефекты» расстановки ПП и ПВ по профилю. В подобных условиях выделение и трассирование по профилю волн, образовавшихся на одной и той же преломляющей

границе (даже если таковая существует), на фоне других искажающих факторов представляет весьма трудную и подчас невыполнимую задачу (Спасский, 1990).

Достоинствами же методики обработки первых вступлений основной съемки являются возможность непрерывной оценки поправок за ВЧР непосредственно по точкам наблюдений – позициям источников и приемников, глубинность исследования (могут быть отслежены неоднородности в слоях ниже ЗМС), удешевление полевых работ. Большая избыточность данных, с одной стороны, повышает надежность оценок; однако, с другой стороны, исключительно большой объем информации делает соответствующие процедуры достаточно трудоемкими, затрудняет контроль качества пикировок и оценок параметров ВЧР (Козырев и др., 2003).

Кроме перечисленных методов существуют так называемые *несейсмические способы* определения параметров ВЧР. При реализации этой группы методов предполагается, что скорости распространения сейсмических волн и плотность пород связаны тесной корреляционной зависимостью. Детальное изучение ВЧР в сейморазведке необходимо для расчета и ввода статических поправок, а в гравirazведке – для введения поправок за промежуточный слой (Бычков, Митюнина, 2015). В данной работе была рассмотрена методика, разработанная в Пермнефтегеофизике, которая позволяет рассчитывать статические поправки по данным гравirazведки.

В работе С.И. Михеева и В.В. Малышева приводится пример использования негеофизической априорной информации для прогнозирования величин статических поправок, без непосредственного изучения ВЧР. Предложенная методика основывается на предварительном районировании территории работ по геологическим картам. Так, на примере трех участков, отличающихся сложным строением и изменчивостью верхней части разреза, авторы анализируют зависимость величин статических поправок и альтитуд точек дневной поверхности. Для этой цели используются уравнения нелинейной корреляционной связи (Горелик, 2017).

В настоящее время существует множество методов и их комбинаций, позволяющих изучать верхнюю часть разреза. Тем не менее вопрос разработки универсального метода, позволяющего с высокой точностью рассчитать априорные статические поправки для районов с различным геологическим строением, остается открытым и не решенным на сегодняшний день.

Библиографический список:

1. Бычков С.Г., Митюнина И.Ю. Построение сейсмогравиметрической модели верхней части разреза // Теория и практика разведочной и промысловой геофизики: Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной юбилейным датам предприятий Пермнефтегеофизика, ЧЕГИС, Пермгеокабель, ФХС-ПНГ, ГЕОЛАЙН. Пермский государственный национальный исследовательский университет. 2015. С. 44–48.

2. Горелик Г.Д. Компенсация влияния структурно-скоростных неоднородностей верхней части разреза на оценки эффективных скоростей отраженных волн: дис. Горелика Г.Д. канд. техн. наук. Санкт-Петербургский Горный университет, Санкт-Петербург, 2017.

3. Козырев В.С., Жуков А.П., Коротков И.П., Жуков А.А., Шнеерсон М.Б. Учет неоднородностей верхней части разреза в сейсморазведке. Современные технологии. М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2003, 227 с.

4. Кулакова Н.В. Использование дисперсии поверхностных волн Рэлея для изучения верхней части разреза. Сборник научных трудов X Международного научно-технического конгресса Студенческого отделения общества инженеров-нефтяников - Society of Petroleum Engineers (SPE). 2019. Тюм. инд. ун-т, Тюмень, 2019.

5. Митюнина И.Ю., Огородова И.В., Спасский Б.А. Технология изучения верхней части разреза по временным полям первых волн в сейсморазведке МОВ ОТГ // Геофизика № 5. Тверь, 2011. С. 46–52.

6. Митюнина И.Ю., Спасский Б.А., Лаптев А.П. Первые волны на сейсмограммах МОВ и изучение верхней части разреза. Геофизика, 2003. № 5. С. 5–12.

7. Михеев С.И., Малышев В.В. О возможности учета верхней части разреза в сейсморазведке на основе анализа косвенных данных // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений, 2002. №3. С. 43–45.

8. Спасский Б.А. Учет верхней части разреза в сейсморазведке. Иркутск, 1990. С. 184.

9. Спасский Б.А., Митюнина И.Ю. Первые волны дополнительный информационный канал. Их обработка и интерпретация / Вестник Перм. ун-та, 2007. Вып. 4 (9). Геология. С. 106–113.

Е.А. Овчинникова¹, Д.Ю. Шулаков², В.И. Костицын¹

¹ПГНИУ, owli97@yandex.ru , kostitsyn@psu.ru

²ГИ УрО РАН, г. Пермь, shulakov@mi-perm.ru

О ПРИМЕНЕНИИ ПАССИВНОГО СЕЙСМИЧЕСКОГО ПРОСЛУШИВАНИЯ ПРИ ГЕОФИЗИЧЕСКОМ КОНТРОЛЕ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО РАЗРЫВА ПЛАСТА В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ

В статье представлен способ мониторинга зон трещиноватости при гидравлическом разрыве пласта в режиме реального времени. Описан опыт применения микросейсмического мониторинга при гидроразрыве пласта на примере одного из месторождений Пермского края. С помощью этой технологии оценивается поведение и распространение трещин. Для регистрации момента образования трещины и получения информации о местоположении, размере и направлении трещины использовались наземная сеть наблюдений и высокочувствительные датчики. Результаты показывали, что наземный микросейсмический мониторинг с большой достоверностью позволяет оценить пространственное положение зон, связанных с образованием трещин.

Ключевые слова: гидроразрыв пласта, микросейсмический мониторинг, микросейсмы.

¹E.A. Ovchinnikova, ²D.Iu. Shulakov, ¹V.I. Kostitsyn

Perm State University, owli97@yandex.ru, kostitsyn@psu.ru

² Mining Institute, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, PAH,
shulakov@mi-perm.ru

ABOUT THE APPLICATION OF REAL-TIME PASSIVE SEISMIC IMAGING DURING HYDRAULIC FRACTURES

This paper presents an innovation methodology for real-time hydraulic fracturing managing. The main purpose of this study is to present the application experience of microseismic monitoring during hydraulic fracturing in Perm's oilfield. This framework can be used for better understanding of hydraulic fracturing geometry and behavior. The authors used surface acquisition configuration and high-sensitive sensors to record the moment of crack formation and to obtain the information about crack's location, size and direction. The results show that surface microseismic monitoring with sufficient reliability can evaluate spatial attitude of zones related to crack's formation.

Key words: hydraulic fracturing, microseismic monitoring, microseism

Гидравлический разрыв пласта (ГРП) является основным методом интенсификации добычи нефти и газа и важным инструментом в разработке нетрадиционных коллекторов. Гидроразрыв пласта, т.е. создание в коллекторе искусственных трещин, осуществляется путем нагнетания в горную породу жидкости под большим давлением. Проведение гидроразрыва в коллекторе ставит целью максимальное увеличение его проницаемости и площади дренирования без выхода создаваемой для этого системы трещин за пределы коллектора (Аксельрод, 2014).

Основная проблема заключается в необходимости жесткого контроля процесса ГРП с целью предотвращения обводнения продуктивного пласта и обеспечения экологической безопасности, т.е. исключения возможности загрязнения источников питьевой воды нефтью, газом или токсичными веществами, входящими в жидкости разрыва. Давление при ГРП, зачастую, бывает единственной непосредственной информацией, имеющейся для мониторинга эволюции трещины в процессе разрыва пласта, что позволяет фиксировать момент раскрытия трещин, но не обеспечивает их локализацию и определение размеров и направленности. Методы каротажа доступны для оценки созданной трещины только до и после проведения ГРП. Наиболее распространенными методами являются гамма-каротаж, гамма-спектральный каротаж, термометрия, промысловый каротаж, полноволновой акустический каротаж, а также ориентированный гамма-каротаж. Данный комплекс методов дает поинтервальную оценку эффективности гидроразрыва. Определение путей движения флюидов с помощью радиоактивных трассирующих веществ производится после завершения ГРП и характеризует систему трещин лишь в небольшой области вокруг скважины (Maxwell, 2012).

В последние десятилетие оформилась новая эффективная категория методов прямой диагностики трещин. Исследования показывают, что картирование трещин может основываться на регистрации акустических сигналов, вызванных

процессом гидроразрыва, и позволяет определить геометрию трещины. Процесс гидроразрыва пласта можно рассматривать как серию мини-землетрясений. Процесс нагружения и деформации пород генерирует серию отчетливых акустических сигналов – микросейсм – низкоамплитудных волновых пакетов продольных и поперечных волн. Микросейсмический мониторинг – это регистрация слабых сейсмических сигналов, источники которых находятся в коллекторе, с целью определения пространственной и временной динамики протекающих в нем процессов.

Рассмотрим результаты использования данной технологии на одном из месторождений Пермского края. Работы проводились для выявления направления трещинообразования при гидроразрыве пласта. Использовалась наземная сеть наблюдений, которая включала в себя 15 трехкомпонентных станций, регистрация микросейсмических сигналов проводилась непрерывно и охватывала работы по перфорации скважины на уровне пластопересечения, производство минифрака и основного фрака. Сейсмические станции были распределены в радиусе 1.5 км от проекции точки пластопересечения на земную поверхность (рис. 1), обеспечивая равномерное азимутальное окружение области возможного развития трещин при ГРП. Как правило, вблизи устья скважины формируется «слепая» зона, в пределах которой техногенные помехи, вызванные работой флота ГРП, слишком высокие. Условно к «слепым» зонам относятся также локальные участки вблизи качалок, нефтепроводов, дорог, населенных пунктов. С другой стороны, на слишком большом расстоянии от точки пересечения скважины и пласта целевой сигнал становится слишком слабым, и его невозможно выделить на фоне шумов. В ходе работ было установлено, что диапазон удалений 500–2500 м является наиболее благоприятным для регистрации по-
Наилучшие условия – на открытом пространстве. Поэтому станции размещались в сравнительно тихих открытых местах на удалении от деревьев, автодорог, населенных пунктов, нефтяных качалок и других источников, создающих значительные шумовые помехи.

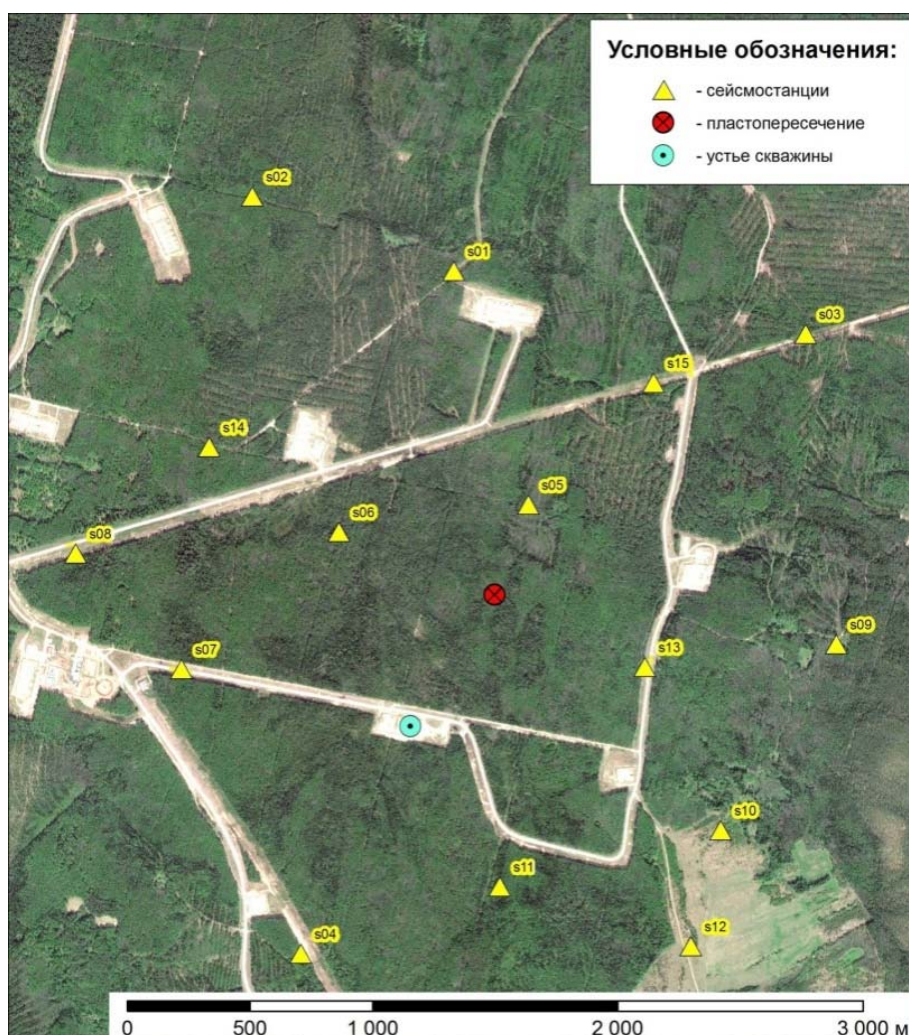


Рис 1. Схема расположения станций на исследуемом месторождении

Для наблюдений наземной поверхности весьма важно использовать малошумящую аппаратуру, позволяющую регистрировать сигналы, сопоставимые с уровнем фоновых микросейсм. Если говорить о датчиках, то такими характеристиками обладают лишь сейсмометры, используемые для регистрации землетрясений. При проведении полевых инструментальных измерений использовались 3 и 6-канальные портативные модули сбора данных Reftek 130-01, Байкал-8 совместно с датчиками SeisMonitor и MiniSeisMonitor, GS-1, Gurlap CMG-6. Для возможности учета неидентичности регистрирующего оборудования перед наблюдениями выполнялась синхронная регистрация сейсмических сигналов различного происхождения всем комплектом сейсмических станций, установленным на специально подготовленной площадке. Данный эксперимент также повторялся по окончании наблюдений.

Обработка данных наземного сейсмического контроля ГРП направлена на создание визуального отображения процесса формирования трещин на уровне пластопересечения. Поскольку трещины и разрывы, формирующиеся при гидравлическом разрыве пласта, являются типичными сейсмическими источниками, изучаемыми методами пассивной сейсмоки, их обработка производится соответствующими алгоритмами, специально разработанными для данного класса

задач. Наиболее адекватные результаты обработки следует ожидать от подходов, широко применяемых в условиях локальных сейсмологических наблюдений на горнодобывающих объектах (Дягилев, 2017).

Фильтрация является важной составляющей любого этапа обработки сейсмических сигналов, так как повышает отношение сигнал/шум и позволяет выявить слабые сигналы. При наблюдениях ГРП использовалась полосовая фильтрация в различных диапазонах. Выбор полосы пропускания фильтра зависит от индивидуальной картины волнового поля на каждой отдельной станции. В качестве примера на рис. 2 представлен результат использования полосового фильтра 15-40 Гц.

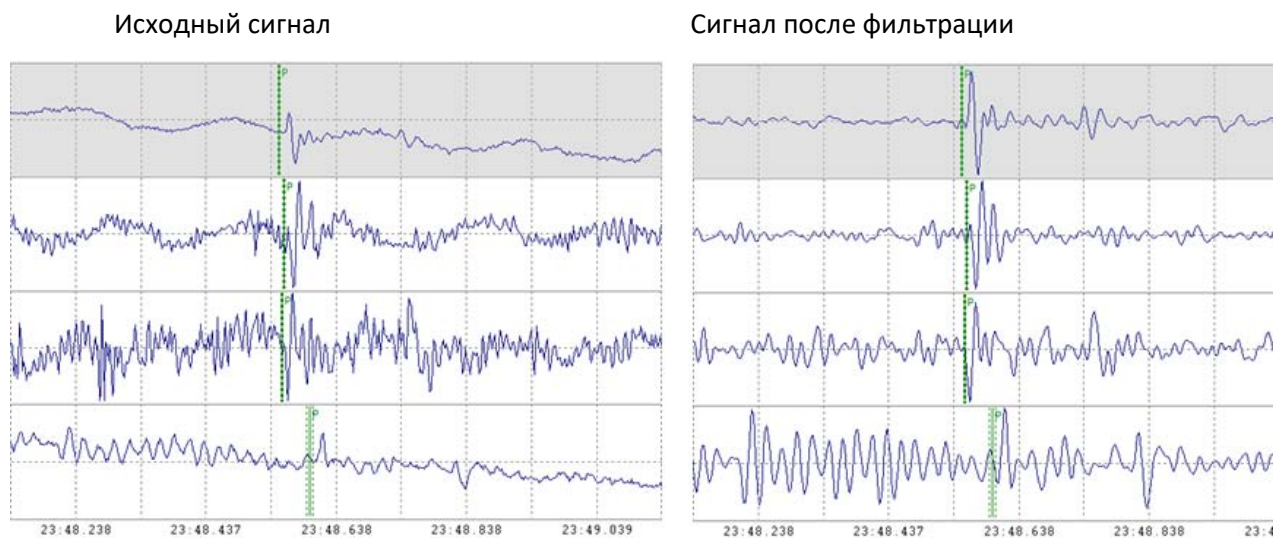


Рис 2. Применение частотной фильтрации при обработке данных

На этапе расстановки сейсмических фаз и последующей локации очагов немаловажное значение приобретает поляризационный анализ, возможность которого обеспечивается наличием трехкомпонентных записей. Первые вступления Р-волн, записанные по трем ортогональным направлениям движения, позволяют определить направление на источник (или направление прихода волны). Сейсмические станции располагаются на разных азимутах и углах выхода по отношению к источнику, поэтому наличие трехкомпонентных записей дает возможность увеличить отношение сигнал/шум на вступлениях продольных и поперечных волн посредством поворота системы координат. Данная процедура преобразует колебания, записанные в системе координат (E, N, Z), где оси ориентированы на восток, север и вниз, в систему координат (R, SH, SV), где оси направлены на источник и перпендикулярно ему на горизонтальной плоскости и в верхнее полупространство (рис. 3). После преобразования вся энергия Р-волны будет сосредоточена на R-компоненте, а энергия S-волны – на компонентах SV и SH.

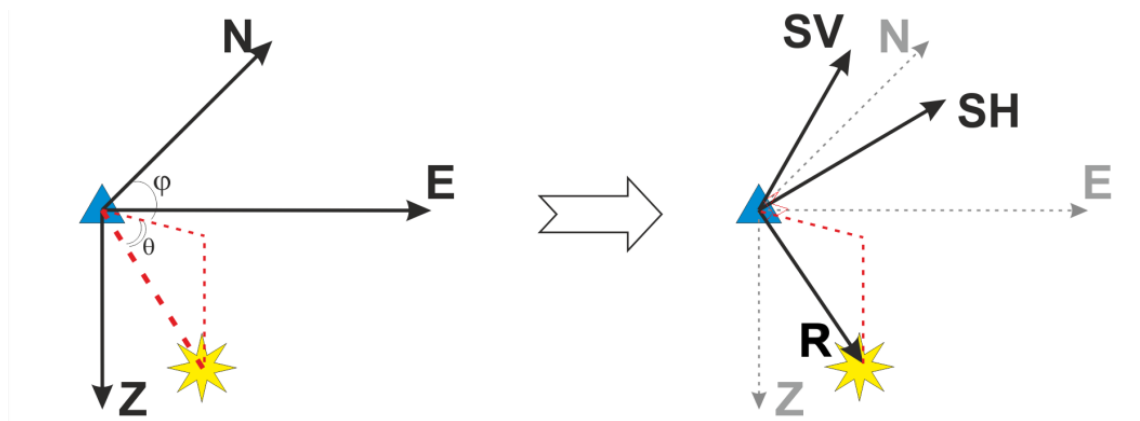
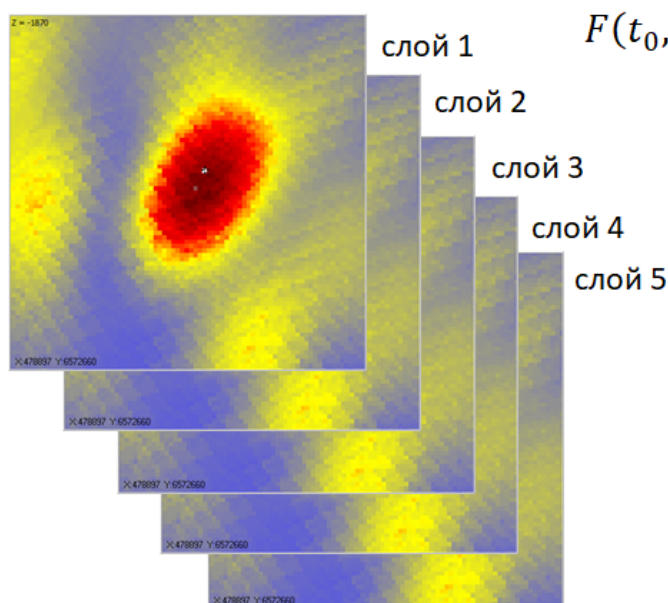


Рис. 3. Преобразование координат из системы (E, N, Z) в (R, SH, SV)

Импульсные сигналы, связанные с гидравлическим разрывом пласта, присутствуют далеко не всегда. При наблюдениях с поверхности они фиксируются очень редко. Для обработки шумоподобных сигналов традиционные методы локации неприменимы. Однако если регулярный сигнал в записях присутствует, местоположение его источника возможно определить с помощью эмиссионной томографии, основанной на расчете функции «яркого пятна», широко используемой при локации источников вулканического тремора (Чеботарева и др., 2000). Функция «яркого пятна» оценивает коэффициент когерентности между записями в некотором частотном диапазоне для заданной точки пространства, которая может быть источником (рис. 4). Здесь для каждого заданного интервала времени сканируется область вокруг пластопересечения на нескольких уровнях и выявляется область, где яркость максимальна. Если принять во внимание только те моменты, в которые яркость выше некоторого порога, то можно сформировать набор псевдособытий, которые будут отражать ход развития трещин при гидравлическом разрыве пласта. Порог следует подбирать так, чтобы оставались только те псевдособытия, которые происходят преимущественно во время закачки.

3D-массив яркости



$$F(t_0, \tau_i) = \frac{\sum_{k=1}^M [\sum_{j=1}^N u_j(t_0 + \tau_{ij} + k\Delta t)]^2}{N \sum_{k=1}^M \sum_{j=1}^N u_j^2(t_0 + \tau_{ij} + k\Delta t)}$$

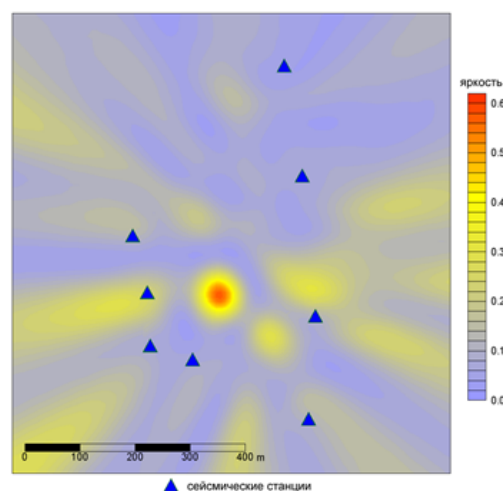


Рис. 4. Применение метода «яркого пятна» при обработке данных

Метод относительной локации сочетается с методом абсолютной локации, поскольку также основан на пересчете разниц времен вступления сейсмических волн в координаты очага. Для процедуры относительной локации не имеет значения, каким способом были определены запаздывания: посредством ручной расстановки видимых сейсмических фаз, либо с помощью автоматической процедуры взаимной корреляции. Главное в методе относительной локации – это наличие априорной информации о так называемом мастер-событии – очаге с известными координатами. Мастер-событием при гидравлическом разрыве пласта может служить предшествующий перфорационный взрыв, производимый на уровне пластопересечения (рис. 5). Необходимо лишь обеспечить его регистрацию теми же станциями, что и сам ГРП, а после произвести его абсолютную локацию любым доступным способом. Разница рассчитанных и фактических координат перфорационного взрыва будет отражать влияние всех неучтенных неоднородностей первичной скоростной модели среды (которая может быть достаточно грубой) и являться постоянной поправкой, которую следует вводить при относительной локации соседних очагов.

На объекте перед гидравлическим разрывом пласта получены записи четырех взрывов, сыгравших роль мастер-событий при относительной локации. Абсолютная локация взрыва торпеды ТШТ, полученная с применением приближенной скоростной модели, представлена на (рис. 5, а). Расчет положения источника взрыва после коррекции скоростной модели показан на (рис. 5, б). На карте одновременно может наблюдаться несколько пятен, из которых самое яркое соответствует расчетному положению очага. Можно видеть, что после внесения поправок в скоростную модель интенсивность второстепенных максимумов снизилась, а главное пятно стало гораздо компактнее и практически точно совпадает с точкой пластопересечения. В целом, аналогичная картина наблюдается и для других взрывов.

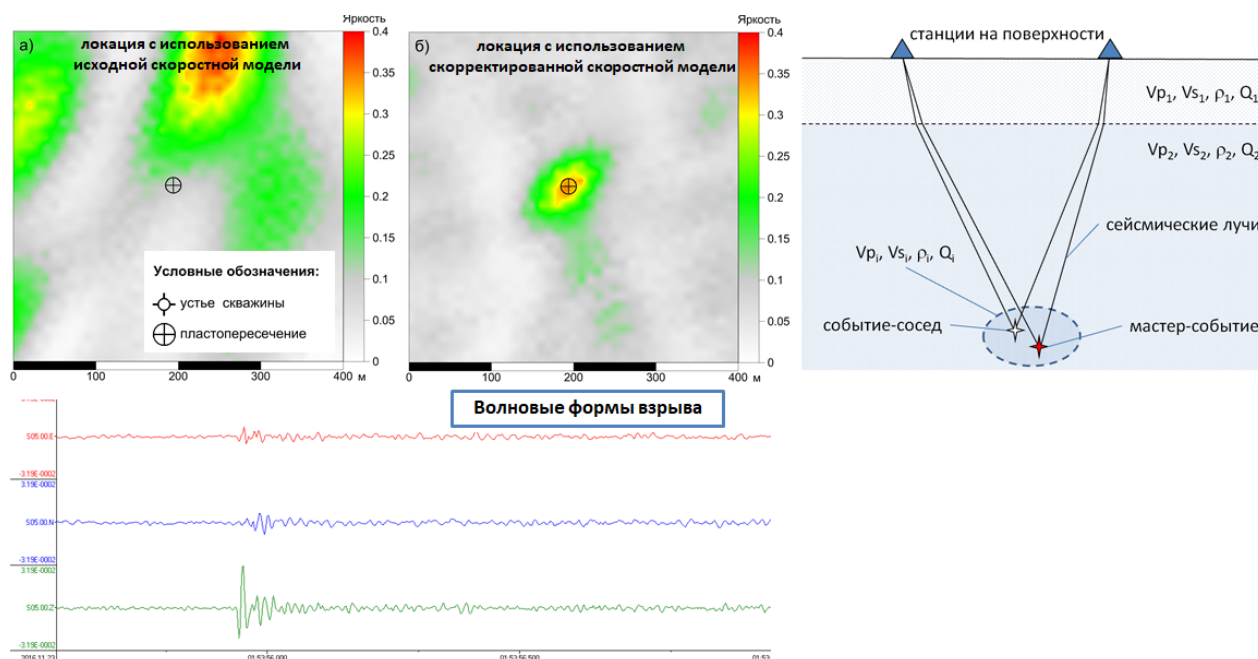


Рис.5. Локация микросейсмических событий с использованием мастер-события

Поскольку при мониторинге гидравлического разрыва пласта сейсмические записи разбиваются на кадры, то карты яркости рассчитываются для каждого

из таких кадров. Строго говоря, формируются не просто карты, а трехмерные массивы яркости, элементы которых соответствуют определенным точкам пространства в окрестности пластопересечения. Длительность временного интервала, соответствующего одному кадру, составляет 1 с. Для исключения пропуска полезных сигналов, массивы яркости строятся для интервалов, перекрывающихся во времени с шагом 0.5 с. Во время гидроразрыва пласта «пятна» в массивах яркости меняют свою амплитуду, появляются и исчезают, мигрируют в соответствии с положением текущих зон микросейсмического излучения и его интенсивностью. Это является отражением разрушения массива под воздействием высокого давления на пласт в интервале перфорации.

Для визуального отображения данного процесса в каждом кадре будем находить точку с максимальным значением яркости. В пределах данного временного интервала считаем, что формирование трещин происходит именно в этой точке. В ходе развития процесса трещинообразования во внимание будем принимать только те кадры, для которых максимальное значение яркости превышает некий заранее заданный порог. Пространственное положение всех выделенных точек будет характеризовать процесс трещинообразования в целом.

Картина пространственного распределения зон микросейсмической активности во время гидроразрыва пласта (рис. 6) отражает проекцию всех выбранных точек максимальной яркости на горизонтальную плоскость, проходящую через пластопересечение. Для наглядности пластопересечение совмещено с началом координат.

Временная динамика процесса трещинообразования показана в виде графиков в нижней части карт микросейсмической активности на (рис. 6). Столбчатый график (синий цвет) отражает моменты появления микросейсмических событий с относительно высокой яркостью (фактически это не настоящие события, а псевдособытия – пространственно-временные точки среды с повышенной яркостью), при этом высота столбиков пропорциональна яркости. График в виде кривых линий (красный цвет) показывает изменение количества событий за единицу времени, желтым фоном на графиках показаны интервалы закачки.

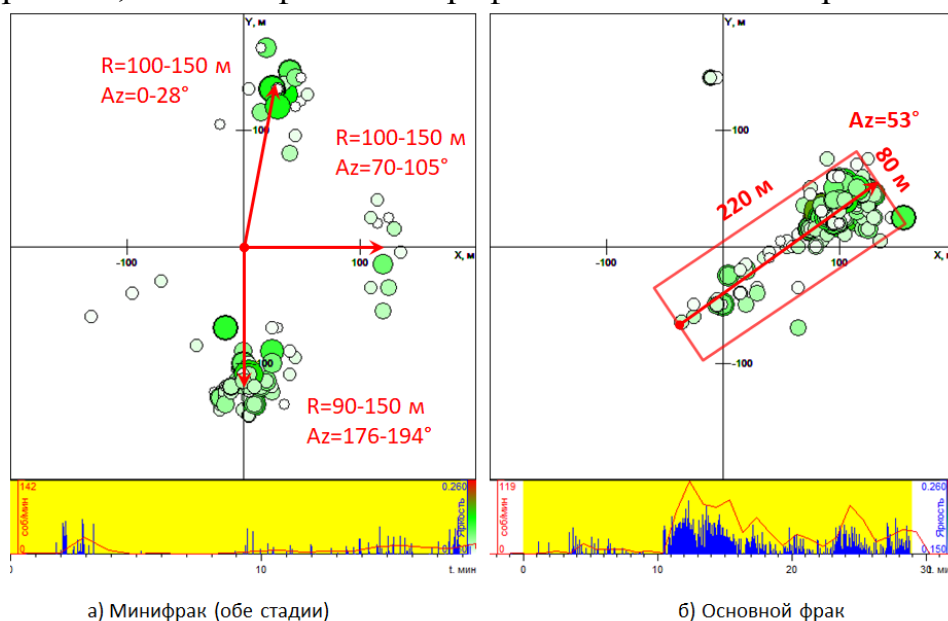


Рис. 6. Карта микросейсмической активности во время минифрака и основного фрака

Во время минифрака было сформировано 3 группы трещин в зоне, удаленной от пластопересечения на 100–150 м к север-северо-востоку, востоку и югу от скважины. На этапе основного гидроразрыва зоны микросейсмической активности снова перестраиваются в пространстве, возобновляя процессы трещинообразования на юге, но ближе к пластопересечению (20–50 м). Далее отмечается постепенное смещение микросейсмической активности на северо-восток, где она фиксируется на удалении 70–150 м с максимальной интенсивностью вплоть до момента завершения закачки. Образовавшийся во время основного гидроразрыва сейсмоактивная зона имеет длину свыше 200 м.

Более полное понимание наблюдаемых особенностей микросейсмической активности может дать сравнение динамики возникновения сейсмических событий с графиками закачки в скважину (рис. 7). Отмеченные ранее псевдособытия, по своему определению, присутствуют всегда, так как для каждой карты яркости всегда можно выделить точку с максимальным значением. Но если рассматривать только самые яркие зоны, то начиная с некоторого порога яркости можно обнаружить, что такая микросейсмическая активность проявляет себя преимущественно во время закачки и близка к нулю в остальные интервалы времени. Сопоставление уровня микросейсмической активности с графиками закачки (рис. 7) показывает, что выделенные псевдособытия проявляются неравномерно во времени. Наибольшая микросейсмическая активность отмечается во время основного фрака, а именно при закачке проппанта (с 11 по 29 минуты).

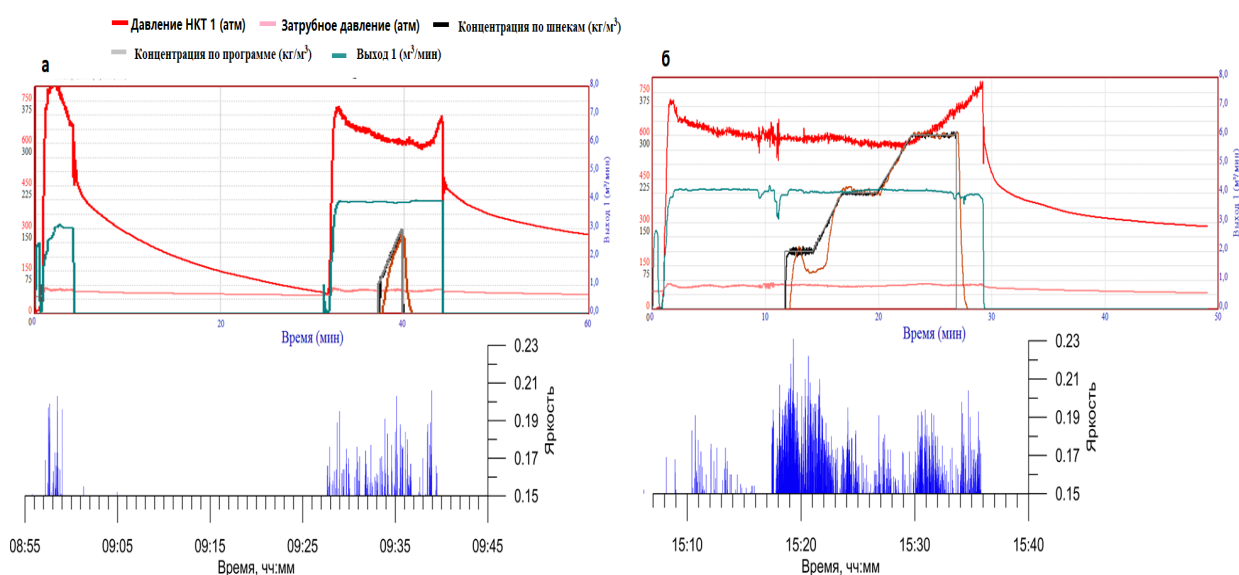


Рис. 7. Динамика микросейсмической активности во время: а) минифрака; б) основного фрака

Таким образом, можно сделать вывод, что микросейсмические наблюдения с земной поверхности показали себя достаточно эффективным инструментом, позволяющим отслеживать пространственную и временную динамику гидравлического разрыва пласта в продуктивном пласте. Однако для получения достоверных результатов требуется тщательное проектирование системы наблюдений и адаптация алгоритмов выделения полезных сигналов под условия конкретного месторождения.

Библиографический список:

1. Аксельрод С.М. Геофизический контроль гидроразрыва пласта в реальном времени: возможности, реализация и ограничения // Каротажник, 2014. № 4. С. 8–116.
2. Дягилев Р.А. Шумилов А.В. Микросейсмический мониторинг развития зон трещиноватости при гидроразрыве пласта // Новая геофизическая техника и технологии для решения задач нефтегазовых и сервисных компаний. Уфа: Изд. ООО «Новтек Бизнес», 2016. С. 99-102.
3. Dyagilev R. A., Shumilov A. V. Estimation of Abilities of Surface Microseismic Monitoring during Hydraulic Fracturing // 187894-MS SPE Conference Paper – 2017. <https://www.onepetro.org/conference-paper/SPE-187894-RU>.
4. Maxwell, S. Microseismic imaging of hydraulic fracturing^ improved engineering of unconventional shale resevoirs // Distinguish instructor short course, 2014.197. Tulsa, Ok: SEG.
5. Tchebotareva, I.I., Nikolaev, A.V., Sato, H. Seismic emission activity of Earth's crust in Northern Kanto, Japan // Physics of the Earth and planetary interiors, 2000. № 4. PP. 167–182.

Р.Р. Маликова, А.В. Борисов, В.Б. Виноградов
Уральский государственный горный университет, Екатеринбург
E-mail: malikova.ruzanna@mail.ru

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ ТРУБОК ВЗРЫВА

Рассмотрена возможность применения математических пакетов для расчета и подбора объемных моделей с постоянными и изменяющимися в пространстве физическими свойствами трубок взрыва, широко распространённых в природе. Рассмотрен практический пример истолкования магнитного поля. Методика рекомендована для имитационного моделирования гравитационного и магнитного полей тел трубообразной формы.

Ключевые слова: трубки взрыва, физические свойства, магнитные аномалии, гравитационные аномалии, физико-геологические модели.

R.R. Malikova, A.V. Borisov, V.B. Vinogradov
Ural State Mining University, Yekaterinburg
E-mail: malikova.ruzanna@mail.ru

IMITATION MODELING OF GEOPHYSICAL FIELDS OF EXPLOSION PIPES

The possibility of using mathematical packages for the calculation and selection of three-dimensional models with constant and varying in space physical properties of explosion tubes, widely distributed in nature, is considered. A practical example of the interpretation of a magnetic field is considered. The technique is recommended for simulation modeling of the gravitational and magnetic fields of tubular bodies.

Key words: explosion tubes, physical properties, magnetic anomalies, gravity anomalies, physical-geological models.

Истолкование магнитных и гравитационных полей обусловленных небольшим числом источников предположительно правильной геометрической формы может быть проведено без использования профессиональных интерпретацион-

ных пакетов. Обратную задачу для такой геологической обстановки можно привести к решению системы линейных алгебраических уравнений небольшой размерности. Решение обратной задачи возможно с помощью распространенных математических пакетов.

Трубообразная форма месторождений и рудовмещающих структур встречается часто (Ф.И. Вольфсон, П.Д. Яковлев, 1985, Дворник Г.П., 2014 и др.). К тому же типу относятся кольцевые интрузивные массивы, вулканические кальдеры, вулканические аппараты, иные столбообразные геологические тела. Яркими примерами таких тел являются кимберлитовые трубки. Наиболее распространенные алмазоносные провинции, расположены в Анголе, Канаде и России (Якутская и Архангельская алмазоносные провинции). При изучении таких объектов давно и успешно применяют геофизические методы (Миков Б.Д., 1985, Банникова П.А., 2019 и др.). Примеры измеренных полей трубок взрыва приведены на рис. 1. В качестве геометрических моделей этих тел используют цилиндрические и конусообразные тела. Все геометрические тела могут, охарактеризованы не более чем 10 параметрами, что обуславливает достаточную устойчивость решения обратной задачи.

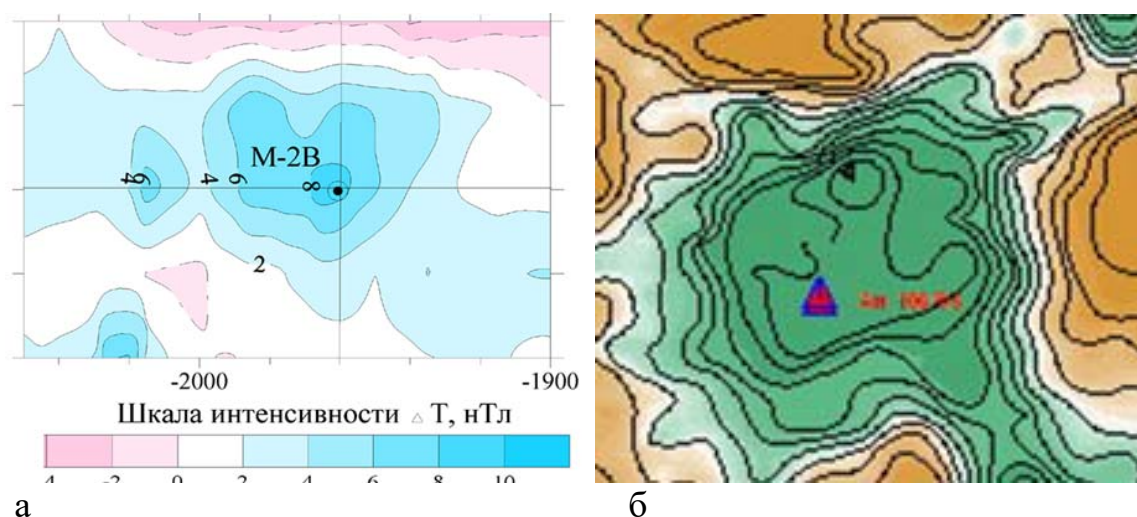


Рис. 1 Магнитное (а) и поле силы тяжести (б) трубок взрыва

Рассмотрим задачу истолкования магнитного поля вертикально намагниченного вертикального эллиптического цилиндра с постоянной намагниченностью J . Прямая задача, как известно, аналитического решения не имеет. Необходимо вычислить интегралы вида:

$$Z(x, y) = 100J \int_{-a-b\sqrt{1-x^2/a^2}}^a \int_{-a-b\sqrt{1-x^2/a^2}}^{b\sqrt{1-x^2/a^2}} \frac{z_0 dy_0}{[(x-x_0)^2 + (y-y_0)^2 + (z-z_0)^2]^{3/2}} dx_0 \Big|_h^{HH},$$

где a, b – полуоси эллипса, h, HH – глубины до верхней и нижней кромки трубки. Расчеты можно провести численными методами с помощью математических пакетов, например, «Mathcad».

Многолетний опыт работ на трубках взрыва свидетельствует о том, что физические свойства пород в них меняются и в латеральном, и в вертикальном направлениях (Трухин В. И., Жилева В.А., Зинчук Н.Н., 1989 и другие). Для

эллиптического цилиндра, намагниченность которого в латеральном и вертикальном направлениях меняется по линейной зависимости.

$$[J_0 + (J_k - J_0)(z - z_0)/(HH - h)] \times \sqrt{(x_0^2 b^2 + y_0^2 A^2) / (A^2 b^2)},$$

магнитное поле определено выражением:

$$Z(x, y) = 100 \int_{-A-b\sqrt{1-(x_0/A)^2}}^A \int_{b\sqrt{1-(x_0/A)^2}}^b \int_h^{HH} \frac{[2(z - z_0)^2 - (x - x_0)^2 - (y - y_0)^2]}{[(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 + (z - z_0)^2]^{5/2}} [J_0 + (J_k - J_0)(z_0 - h)/(HH - h)] \times \\ \times \sqrt{(x_0^2 b^2 + y_0^2 A^2) / (A^2 b^2)} dz_0 dy_0 dx_0,$$

где, A – большая полуось эллипса верхней кромки, b – малая полуось эллипса верхней кромки, J_0 – величина вертикальной намагниченности в центре верхней кромки трубки, J_k – намагниченность на внешней стенке h – глубина до верхней кромки, HH – глубина до нижней кромки.

Наиболее общий случай – трубка с уменьшающимся сечением при увеличении глубины (перевернутый усеченный конус).

Изменение намагниченности и плотности горных пород трубки в латеральном и вертикальном направлениях отражает горизонтальную геологическую зональность трубок взрыва. Их изменение можно описать линейной зависимостью:

$$\sigma_0 \sqrt{(x_0^2 b^2 + y_0^2 A^2) / (A^2 b^2)},$$

где, A – большая полуось эллипса верхней кромки, b – малая полуось эллипса верхней кромки, σ_0 – плотность в центре трубки.

В некоторых случаях геометрическая модель может быть представлена перевернутой пирамидой усеченных эллиптических конусов.

На погрешность результатов истолкования значительное влияние оказывают следующие причины:

- погрешность выделения локальной аномалии (точность учета регионального фона),
- пространственная изменчивость намагниченности и плотности,
- погрешность аппроксимации формы источников поля.

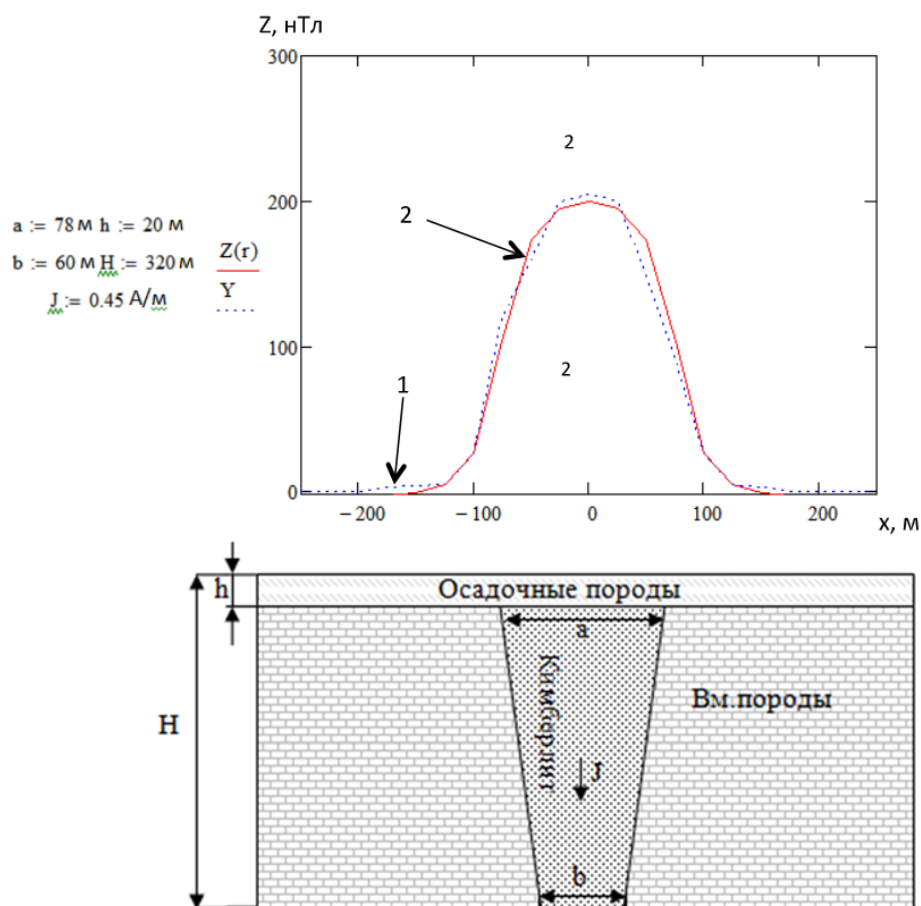


Рис. 2. Результаты подбора магнитного поля трубки взрыва в Якутской алмазonoсной провинции. Условные обозначения: 1 – измеренное поле, 2 – подобранное поле

Эти факторы уменьшают точность определения параметров аномалиеобразующих объектов до 20 %. Поэтому предлагаемые алгоритмы и программы могут применяться на этапе поисков и в начальный период разведки месторождений для проведения имитационного моделирования. Пример решения обратной задачи приведен на рис. 2. В данном примере, в качестве первого приближения использовалась трубка с круговым, сужающимся с глубиной сечением и вертикальной намагниченностью. Подбор поля проводился в программе «Mathcad», параметры подбора указаны на (рис 2). Имитационное моделирование потенциальных полей позволяет уточнить физико-геологическую модель месторождения и рассмотреть несколько вариантов ФГМ.

^{1,3}Се М., ¹В.И. Костицын, ^{1,2}А.Д.Савич

¹ПГНИУ, kostitsyn@psu.ru

²ПАО «Пермнефтегеофизика», savich@pngf.com

³Китайский нефтяной университет, Хуандао, г. Циндао, e-mail: yiranxmj@gmail.com

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ ВТОРИЧНОГО ВСКРЫТИЯ ПЛАСТА ПОД ГЛУБИННЫМ НАСОСОМ

Рассмотрены механизм действия геофизической технологии вторичного вскрытия пласта под глубинным насосом, принцип очистки перфорационных каналов, результаты применения технологии в нескольких нефтяных месторождениях России, условия использования и направления развития технологии вторичного вскрытия пласта.

Ключевые слова: динамическая депрессия, технология вторичного вскрытия пласта, очистка перфорационных каналов, увеличение дебита скважин.

Se M., Kostitsyn V.I., Savich A.D.

Perm State University, kostitsyn@psu.ru

²ПАО «Пермнефтегеофизика», savich@pngf.com

³Китайский нефтяной университет, Хуандао, г. Циндао, e-mail: yiranxmj@gmail.com

ANALYSIS OF EFFICIENCY OF GEOPHYSICAL PERFORATION TECHNOLOGY OF THE FORMATION BELOW-SUBSURFACE-PUMP

The article introduced the mechanism of action of the geophysical perforation technology of the reservoir below-subsurface-pump, the principle of cleaning the perforation tunnels, the results of applying the technology in several oil fields in Russia, the application conditions and the development directions of the perforation technology of the reservoir.

Key words: dynamic underbalance, perforation technology of the reservoir, cleaning of perforation tunnels, increase the output of wells.

С развитием разработки нефтяных месторождений реперфорация старых скважин является одной из основных мер по увеличению дебита нефтяных скважин. В настоящее время основным техническим средством является увеличение энергии перфорации, глубины и площади поперечного сечения перфорационных каналов, тем самым увеличивается производительность отдельной скважины. Из-за коррозии колонн скважин и старения цемента, использование технологии высокоэнергетической перфорации может привести к заколонному перетоку и сокращению срока службы скважины. Технология перфорации на динамической депрессии при детонации зарядов позволяет быстро формировать перепад давления в скважине, эффективно очищать перфорационные каналы, улучшать дебит скважины, не влияя на срок службы старых скважин.

Авторы (Гайворонский, Костицын, Савич, Шуров, 2015) считают, что механизм действия перфорации на динамической депрессии делится на три этапа: детонация, динамический отрицательный перепад и приток, очистка перфорационных каналов. После детонации, через специальную конструкцию жидкость

с высокой скоростью течет из зоны высокого давления (ствол скважины) в зону низкого давления (инструмент для снижения давления), что приводит к отрицательному перепаду давления и быстрому обратному потоку, который промывает перфорационные каналы и зону уплотнения, выводит крошечные частицы и часть аллогенных минералов, которые проникают в поры и трещины, и улучшает проницаемость пород вокруг каналов. В то же время, высокоскоростной поток между перфоратором и обсадной колонной протекает через выход канала, и в отверстии образуется другое отрицательное давление (принцип гидравлического эжектора), которое приводит к дальнейшему увеличению амплитуды и длительности отрицательного перепада и улучшает эффект очистки перфорационных каналов (рис. 1).

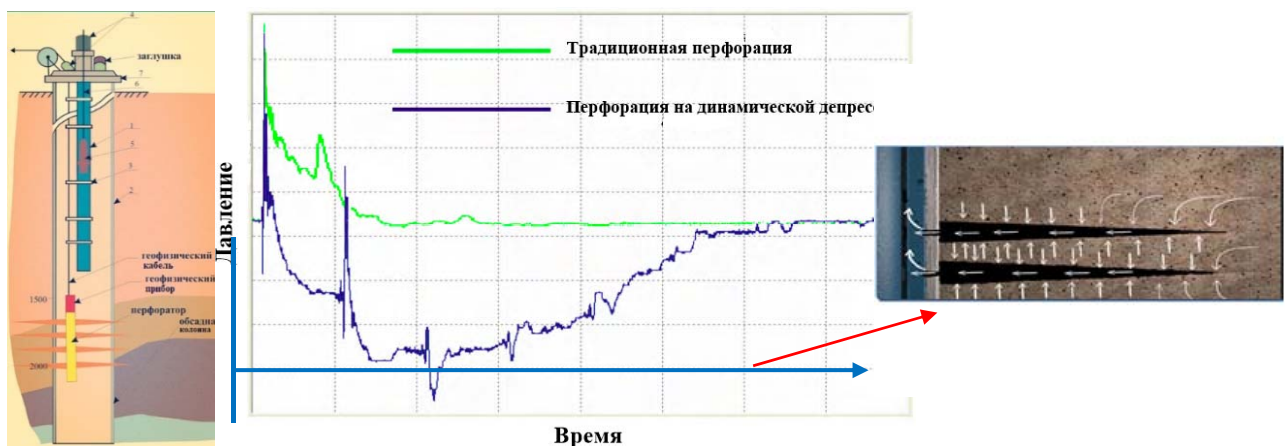


Рис. 1. Схема динамической депрессии пласта

В работе (Walton и др., 2001) показано, что во время детонации баланс напряжения породы вокруг каналов мгновенно нарушается. Под действием земного напряжения вокруг перфорационного канала образуется сеть микротрещин, которая значительно увеличивает проницаемость зоны уплотнения вокруг перфорационного канала (рис. 2, а). Приводит к микротрещинам в породах несбалансированность земного напряжения, которая напрямую снижает интенсивность пород. На этапе притока и очистки, поскольку амплитуда обратного потока продолжает увеличиваться, это может привести к разрушению породы вокруг каналов, уменьшает толщину зоны уплотнения и увеличивает диаметр перфорационного канала (рис. 2, б).

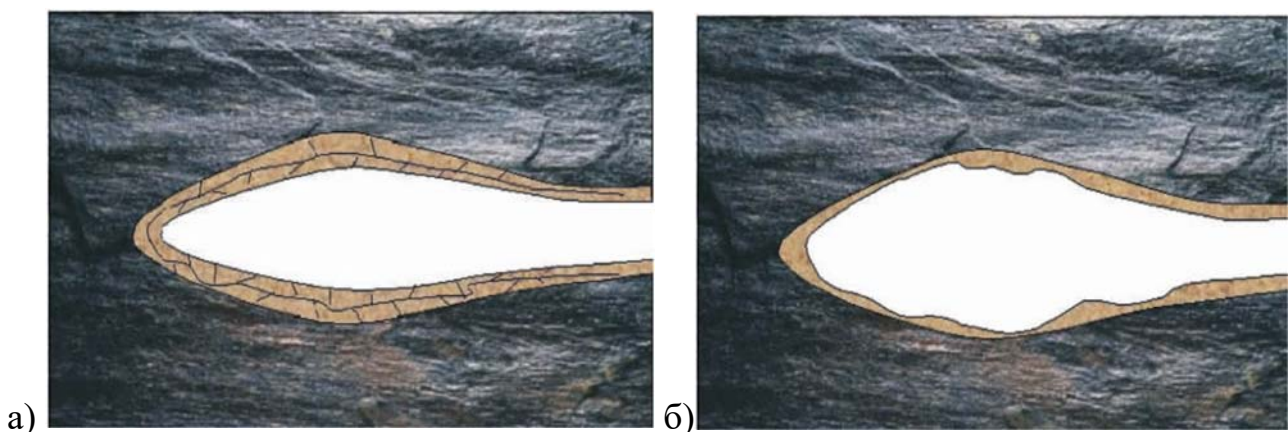


Рис. 2. Механизм напряжения сдвига

Кроме очистки перфорационных каналов, другой особенностью этой технологии является экономия времени операции. Сопоставлялись затраты времени по технологическим операциям при традиционной перфорации и при перфорации на депрессии (таблица). Затраты времени перфорации на депрессии снижены в 3 раза по сравнению с затратами времени традиционной перфорации, причем точность перфорации на депрессии достаточно высока. При контроле интервалов перфорации в скважине а (рис. 3, а), перфорация отмечается в интервале 1890,1–1896,9 м, плановый интервал – 1890–1897 м, расхождение составляет 0,1 м; в скважине б (рис. 3, б) перфорация отмечается ниже глубины 2206.0 м, плановые интервалы: 2206.0–2213.0; 2216.0–2218.0; 2220.0–2224.5 м, расхождения отсутствуют. В целом, в скважинах разных месторождений расхождения между плановыми и фактическими интервалами изменяются от 0 до 0.4 м.

Таблица. Сравнение затрат времени по технологическим операциям

Традиционная перфорация	Вид работ	Сборка, спуск и привязка	Позиционирование	Создание депрессии, инициирование	Сваби-рование	Глушение и подъём	Спуск ЭЦН	Σ
	Время, ч	22	11	8	36	24	22	123
На депрессии	Вид работ	Привязка	Сборка, спуск и позиционирование	Спуск ЭЦН	Создание депрессии, инициирование			Σ
	Время, ч	5	8	22	6			41

Выполнен мониторинг работы пластов и оборудования после прострелочно-взрывных работ (ПВР) под глубинным насосом с применением оптоволоконного кабеля. Успешно проведены испытания различных конструкций оптоволоконного кабеля, в том числе при массе зарядов в тротиловом эквиваленте более 6 кг. Для снижения давлений при больших интервалах перфорации и зарядами со значительной массой взрывчатых веществ, планируется применять технологию «динамической депрессии». На рис. 4 показаны изменение спектра температуры (а) и гистограммы избыточных давлений ($P_{изб.}$) на различных расстояниях от перфоратора (1; 3 и 10 м) во время проведения перфорации (б).

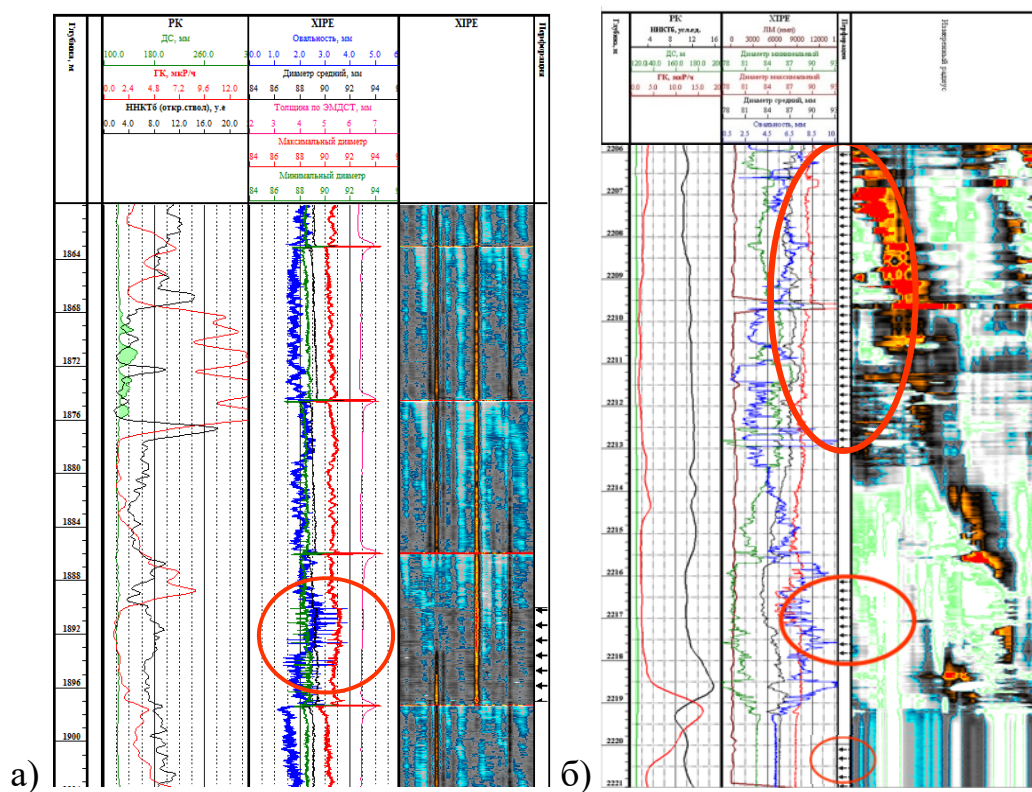


Рис. 3. Результаты контроля интервалов перфорации в скважинах а и б

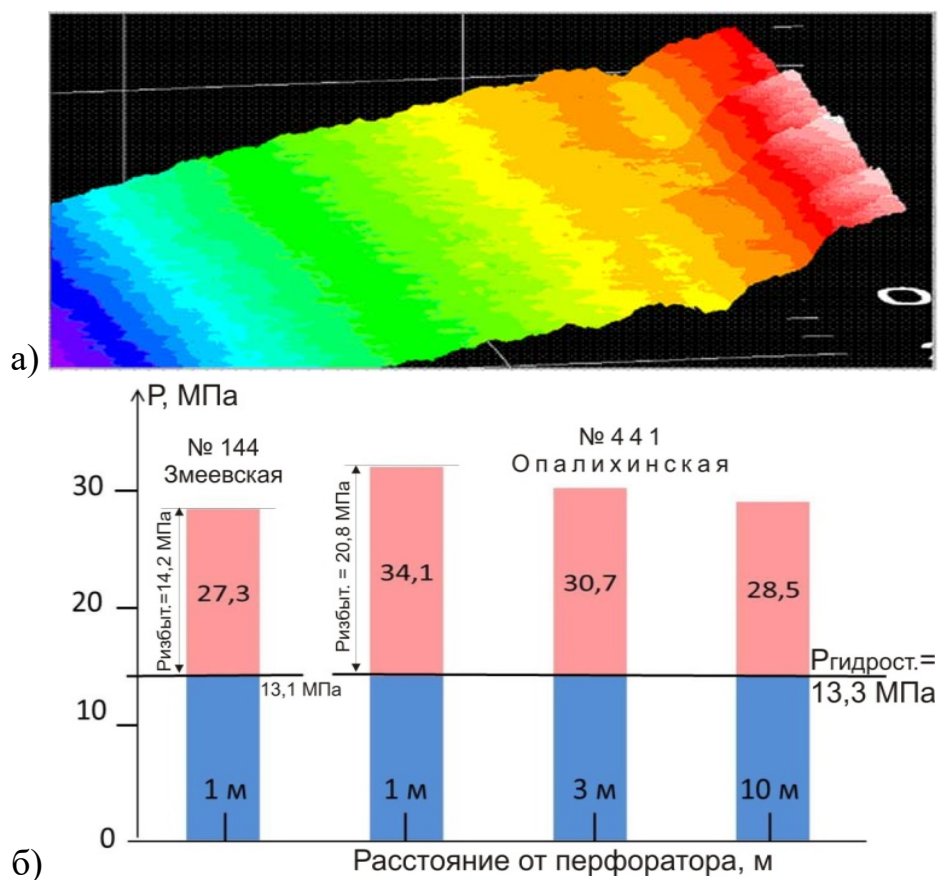


Рис. 4. Результаты мониторинга работы пластов под глубинным насосом с применением оптоволоконного кабеля

Результаты измерений подтверждают, что значения $P_{изб.}$ достигают значительных величин, что требует разработки специальных технологий и технических средств для их снижения с целью повышения качества вторичного вскрытия, а также защиты глубинных приборов и оптоволоконного кабеля от повреждения.

Сравнивая результаты перфорации по 50 скважинам на депрессии можно сделать следующие выводы:

1. Эффективность геофизической технологии вторичного вскрытия на динамической депрессии наиболее выражена в следующих условиях скважины: коэффициент глинистости не выше 15 %, проницаемость выше $100 \cdot 10^{-3} \text{ мД}$, перфорируются множество прослоев;

2. Геофизическая технология вторичного вскрытия пластов позволяет исключить дорогостоящие излишние операции по глушению и последующему освоению скважин, создать оптимальную депрессию для качественной очистки перфорационных каналов и призабойной зоны пласта;

3. При выборе значений депрессии, которые рекомендуются в пределах 5.0 МПа, необходимо руководствоваться соотношением $P_{пл}/P_{нас} \geq 0.75$, для этого нужно иметь точные данные о пластовых давлениях. При их отсутствии величину депрессии планировать более 5.0 МПа (с учётом завышения $P_{пл}$);

4. Наличие каналов связи позволяет получать информацию о работе пластов, состоянии скважины и оборудования посредством подключения к ним глубинных приборов геофизических исследований скважин и оптоволоконных датчиков распределенной термометрии;

5. Дальнейшее совершенствование геофизической технологии необходимо проводить в направлениях реализации наиболее эффективной для данных условий методики динамической депрессии; мониторинга работы пластов и оборудования в процессе их эксплуатации в межремонтный период (как с применением спущенного под насос глубинного прибора, так и при помощи оптоволоконного кабеля) и вторичного вскрытия карбонатных отложений в кислотной среде.

Библиографический список:

1. Меркулов А.А., Шумилов А.В., Савич А.Д., Шуров В.М. О выборе стратегии заканчивания нефтегазовых скважин // Нефтяное хозяйство. 2015, № 11. С. 104–107.
2. Гайворонский И.Н., Костицын В.И., Савич А.Д., Черных И.А., Шумилов А. В. Пути повышения эффективности вторичного вскрытия продуктивных пластов // Нефтяное хозяйство. 2016, № 10. С. 62–65.
3. Charlie Cosad. Choosing a Perforation Strategy // Oilfield Review, Schlumberger, 1998.
4. Гайворонский И.Н., Костицын В.И., Савич А.Д., Черных И.А., Шумилов А. В. Совершенствование технологий вторичного вскрытия продуктивных пластов // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. 2016, № 9. С. 42–49.
5. Стариков С.А. Рекомендации по выбору перфорационного оборудования DI-NAWELL для вторичного вскрытия продуктивных пластов Чаяндинского месторождения углеводородов // НТВ «Каротажник». 2017, вып. 1 (271). С. 45–53.
6. Савич А.Д., Черных И.А., Шадронов А.А., Шумилов А.В. Патент на полезную модель «Устройство для вторичного вскрытия пластов на депрессии со спуском перфоратора под глубинный насос (варианты)», № 145328. М., РОСПАТЕНТ. 2014.

7. Савич А.Д., Черных И.А., Шадронов А.А., Шумилов А.В. Патент на изобретение «Способ вторичного вскрытия пластов на депрессии со спуском перфоратора под глубинный насос и устройство для его осуществления (варианты), № 2571790. М., РОСПАТЕНТ, 2015.
8. Walton I.C., Johnson A.B., Behrmann L.A., Atwood D.C. Laboratory Experiments Provide New Insights into Underbalanced Perforating // SPE Annual Technical Conference and Exhibition. Society of Petroleum Engineers. New Orleans, Louisiana. 2001.
9. Bolchover P., Walton I.C. Perforation damage removal by underbalance surge flow // SPE Paper 98220, International Symposium on Formation Damage. Society of Petroleum Engineers. Lafayette, February 15-17, 2016.

А.А. Глотов

ПГНИУ, ПАО «Пермнефтегеофизика», lik5611@gmail.com

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ КАЧЕСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ ПОВЕРХНОСТНО-СОГЛАСОВАННЫХ МНОГОФАКТОРНЫХ ДЕКОНВОЛЮЦИЙ ВИННЕРА И ГАБОРА

Статья посвящена качественной сравнительной оценки двух типов поверхностно-согласованных многофакторных деконволюций – Виннера и Габора на практическом примере одной из 3D площадей Пермского края. Актуализирована проблема не идентичности условий возбуждения и регистрации сейсмического волнового поля.

Ключевые слова: деконволюция Виннера, деконволюция Габора, поверхностные условия, сейсморазведка 3D

A.A. Glotov

Perm State University, PAO «Permneftegeofizika», lik5611@gmail.com

COMPARATIVE QUALITY ANALYSIS OF SURFACE-AGREED MULTI-FACTOR DECONVOLUTIONS OF WINNER AND GABOR

The article is devoted to a qualitative comparative assessment of two types of surface-consistent multi-factor deconvolutions – Winner and Gabor on the practical example of one of the areas of the Perm region. The problem of not identical conditions of excitation and registration of a seismic wave field is actualized.

Key words: Winner deconvolution, Gabor deconvolution, surface conditions, 3D seismic

Рассматривая процесс распространения упругих колебаний в среде и регистрации сейсмических волн как линейного процесса, частотную характеристику трассы можно описать произведением частотной характеристики приемно-регистрирующего канала и частотной характеристики среды (ЧХС). ЧХС включает в себя искажения динамики и кинематики волнового поля, вызываемые средой, которые выражаются, например, кратными отражениями, волнами-спутниками, образовавшиеся на поверхности земли и схожие с ними, наличием зон аномального поглощения энергии сейсмической записи. Основной целью

деконволюции заключается получение импульсной отражательной характеристики разреза среды с максимально высоким временным разрешением из сейсмических данных, компенсация нежелательных изменений фазы, частоты и амплитуды в процессе регистрации данных и/или вследствие влияния поверхностных факторов.

На ранних этапах обработки сейсмических сигналов широкое применение находила одноканальная деконволюция с использованием стационарного оператора, статистически рассчитанного и применяемого к отдельным трассам. По мере развития цифровой обработки сигнала методы стационарного сигнала были расширены рядом решений: разделение на поверхностно-согласованные факторы и подходы по учету нестационарности сейсмического сигнала, вызванной влиянием среды – затухание и поглощения энергии.

В данной статье рассмотрен практический опыт применения широко используемой деконволюции Виннера (линейный метод) и деконволюции Габора, который использует преобразование Габора, на примере реальных сейсмических 3D данных до суммирования. Теоретические вопросы по каждому и подходов деконволюции доступно рассмотрены в статьях (Henley, 2007), (Margrave, 2003), а так же (Андреев, 2014), (Бардин, 2017).

Деконволюция Виннера основана на решении уравнения Винера-Левинсона для расчета оптимального оператора деконволюции, методом наименьших квадратов. Импульс рассчитывается из логарифма поверхностно-согласованной автокорреляции путем применения преобразования Гилберта. Затем результирующий оператор модифицируется в зависимости от желаемой формы сигнала на выходе. Фильтр Винера, как было сказано, является оптимальным решением. Это означает, что никакое другое решение не может работать лучше в данной постановке задачи (Бардин, 2017).

Преобразования Габора выполняет деконволюцию спектральное выравнивание и используются для фиксации переменных по времени характеристик сейсмических трасс. Стандартная стационарная сверточная модель трассы расширяется до нестационарной сверточной модели, где можно выполнить оценку и восстановление из свертки переменного по времени импульса в области Габора. Деконволюция Габора позволяет получить лучшие оценки рядов сейсмических сигналов при быстром изменении сейсмических импульсов во времени. Если главной причиной изменений во времени в проходящем сейсмическом импульсе является затухание, можно рассматривать деконволюцию Габора в качестве алгоритма, который выполняет одновременно деконволюцию и компенсацию затухания. Алгоритм деконволюции Габора может считать усовершенствованным многооконным методом деконволюции (рис. 1).

Сравнение деконволюции Габора и деконволюции Винера во временной области для синтетического нестационарного сигнала (по Margrave, 2003).

С целью выбора оптимальных параметров деконволюции было выполнено тестирование. Принятые параметры деконволюции Виннера:

- длина оператора 300 мс;
- уровень белого шума 0.1 %.
- окно расчета оператора 100–1500мс

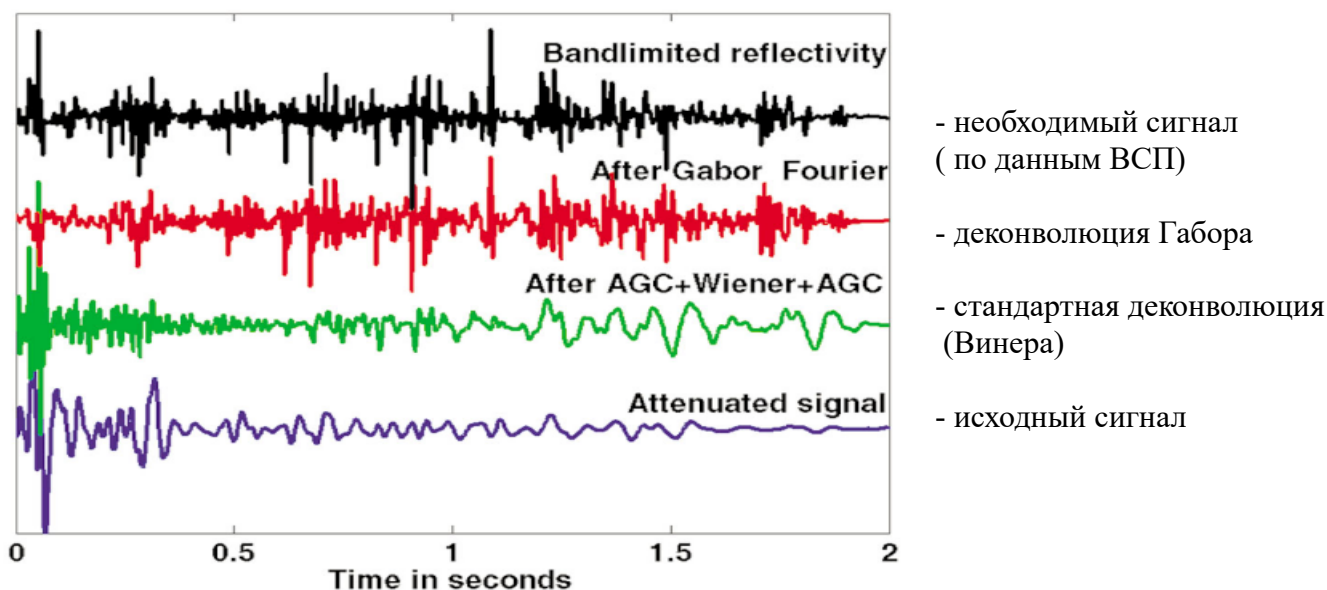


Рис. 1. Алгоритм деконволюции Габора

Опробованы длина окон преобразования Габора в пределах 0.20–0.400с, коэффициент устойчивости (или процент предварительного отбеливания) 0.01 %, 0.1 %, 1 %, 10 %. Критериями выбора параметров служили равномерность амплитудно-частотной характеристики и наиболее равномерное распределение максимума функции автокорреляции. В результате тестов выбраны следующие параметры:

- окно расчета оператора 100 с;
- длина окон преобразования Габора 400 мс;
- коэффициент устойчивости 0.5 %.

Критериями выбора параметров послужили равномерность амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) и наиболее равномерное распределение максимума функции автокорреляции (ФАК) (рис. 2 а, б, в). Исходя из визуальной оценки вертикальных временных срезов видно, что при использовании деконволюции Габора эффект затухания компенсирован более корректно, чем при Виннера (несмотря на применение Q-компенсации, с постоянным коэффициентом, полученным путем анализа спектров амплитуд в 2 х окнах, перед деконволюцией Винера), что позволяет увеличить разрешённость сейсмических изображений, т.е. повысить детализацию и «освещённость» геологических особенностей целевых пластов в волновом поле.

Анализируя схемы доминантных частот во временных интервалах расчета 200-500 мс и 400-1000 мс можно отметить, что деконволюция Габора дает более высокочастотный материал по сравнению с Виннера (рис. 3, 4). Повышение уровня частот наблюдается и по данным АЧХ разрезов и самих разрезов, причем высокочастотные компоненты сигнала представлены не случайными шумами, вызванными отбеливанием, а преимущественно, когерентными волнами.

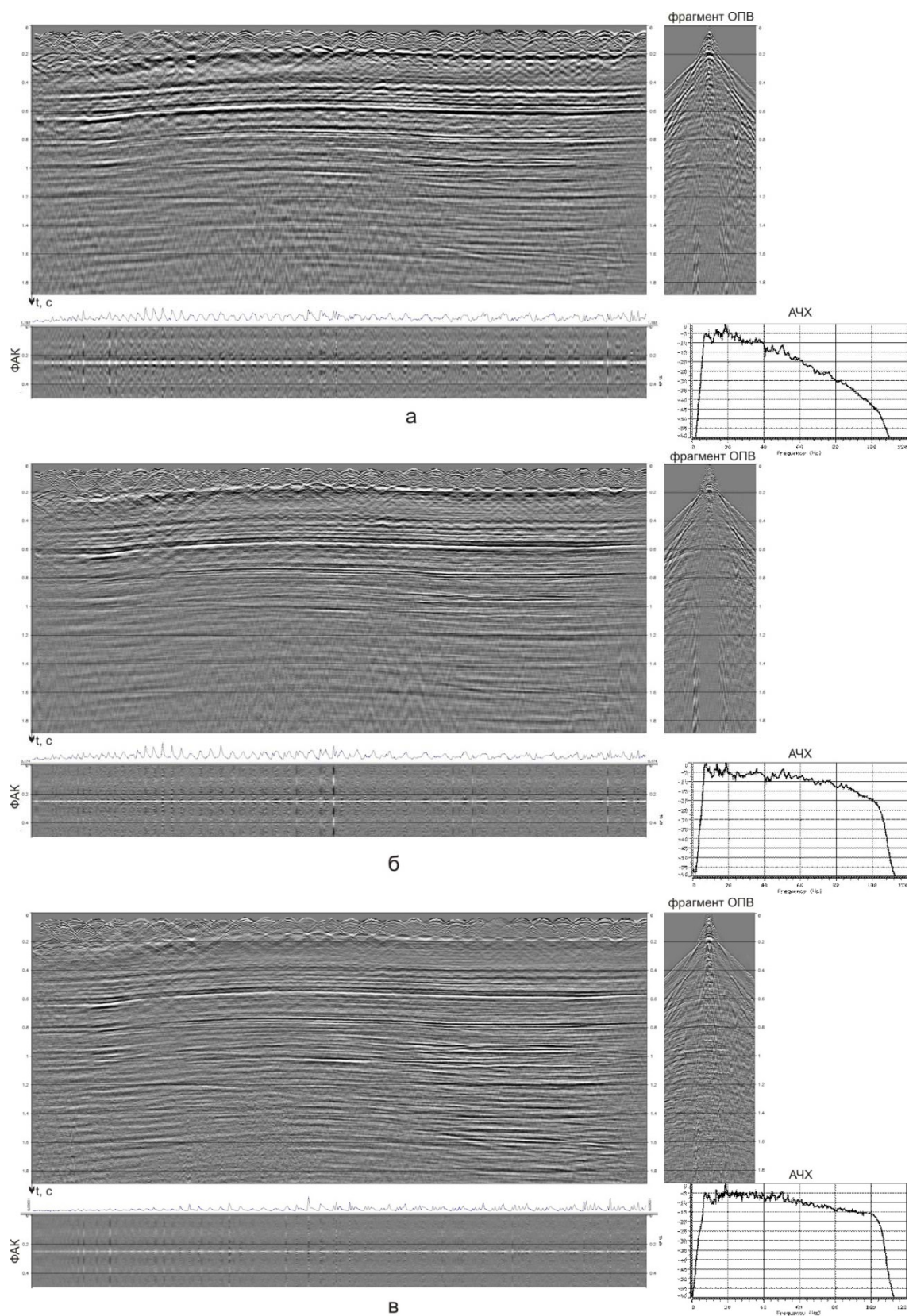


Рис. 2. Временной разрез, фрагмент сейсмограммы, функция автокорреляции, амплитудно-частотный спектр: а – до деконволюции, б – после деконволюции Виннера, в – после деконволюции Габора

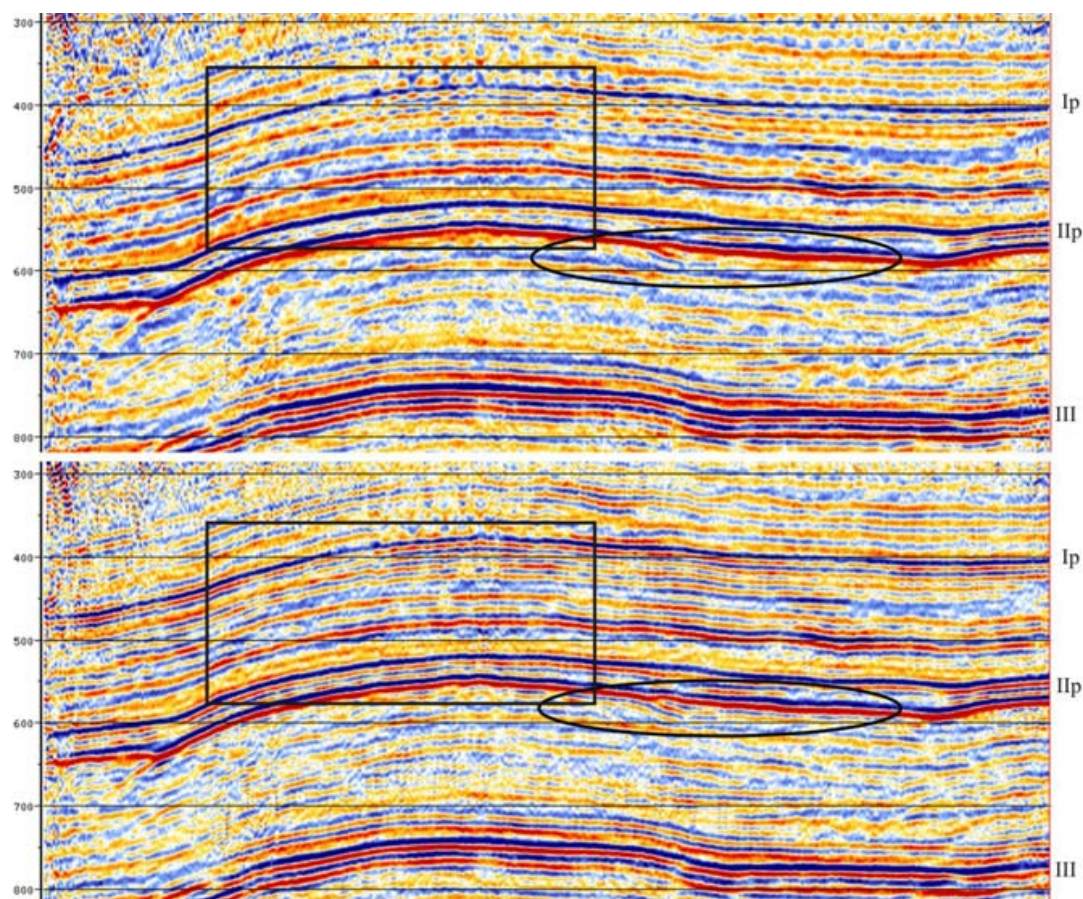


Рис. 3. Детальный фрагмент суммарных сейсмических данных с выделенными зонами для сравнения после деконволюции Виннера и Габора

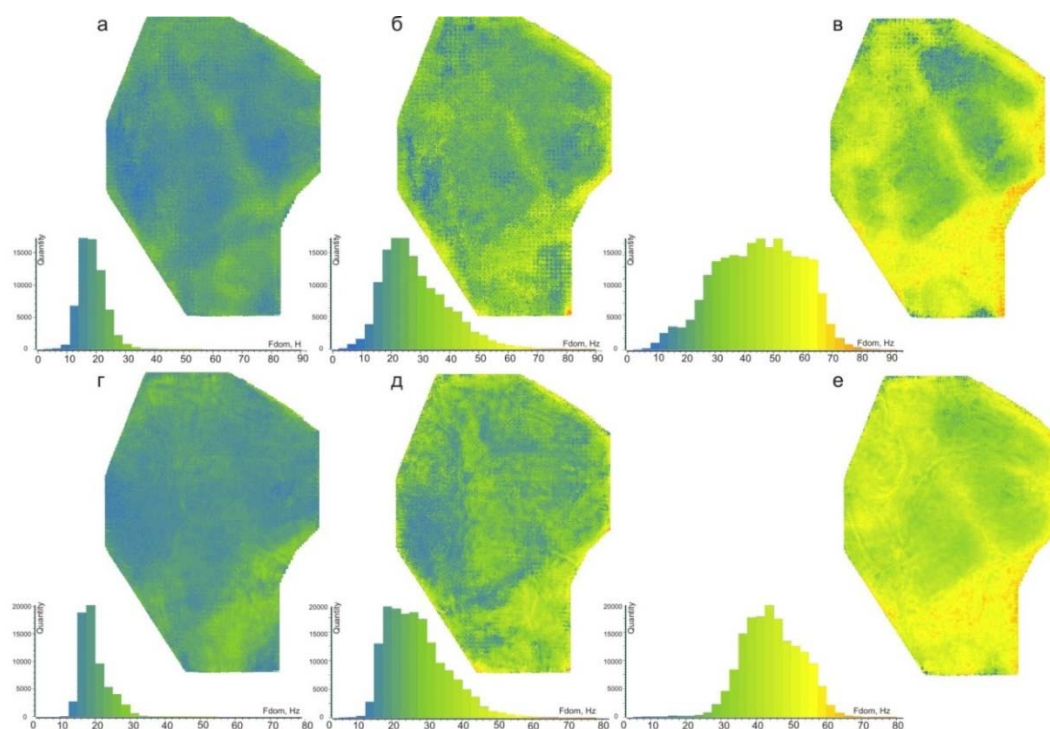


Рис. 4. Схемы доминантных частот окно анализа 200-500 мс: а – до деконволюции, б – после деконволюции Виннера, в – после деконволюции Габора; схемы доминантных частот окно анализа 400-1000 мс: г – до деконволюции, д – после деконволюции Виннера, е – после деконволюции Габора

Стоит так же отметить наличие корреляционной связи между динамическими параметрами сигнала с альтитудами рельефа, который на площади крайне резко дифференцирован (рис. 5). Система рек и ручьев породила сеть крутых склонов и глубоких оврагов, где литологический характер поведения пород ВЧР крайне контрастен. Состав пород верхней части разреза неоднороден, за исключением южной части площади работ, где холмистый и крайне изрезанный характер поведения поверхности рельефа сменяется на спокойный равнинный. Условно, по кроссплоту RMS амплитуд и альтитуд рельефа можно выделить 2 зоны – зона А и зона В. Зона А характеризуется высокоамплитудными значениями RMS, повышенными значениями преобладающих частот, которые могут соответствовать возбуждению и регистрации сигнала преимущественно в песчано-глинистой обводненной части разреза в пойменных зонах речек и ручьев (зоны аллювиальных отложений). Зона В характеризуется пониженными RMS амплитудами и преобладающими частотами, что может свидетельствовать о возбуждении и регистрации сигнала в сухих выветрелых карбонатных и терригенных породах на повышенных формах рельефа. И после деконволюции Виннера и после деконволюции Габора остаточная корреляция динамических параметров записи с рельефом частично сохраняется.

По определению, процедура факторной (согласованной по источникам и приемникам) деконволюции волнового поля предназначена для устранения динамических искажений волнового поля, связанных с неоднородностью ВЧР. Теоретической основой для модели факторной деконволюции, реализованной в частности, для деконволюции Виннера, является сверточная модель сейсмической трассы, включающая факторы источников, приемников, ОГТ и удаления приемник-источник. Фильтр, описывающий влияние поверхностных условий, определяется корректно только в том случае, если в исходном волновом поле отсутствуют длиннопериодные пространственные вариации, связанные с источниками и приемниками. Поскольку в природе это большая редкость так как среда неоднородна, то в общем случае получаются смещенные оценки спектров ПП и ПВ и соответственно обратных фильтров, корректирующих спектральные характеристики ПП и ПВ. Поэтому в результате применения корректирующего фильтра, в общих случаях, не устраняются длиннопериодные пространственные вариации динамических параметров волнового поля, связанные с влиянием поверхностных условий.

В настоящее время проблемы компенсации поверхностных условий в сложно построенной ВЧР и резкопересеченном рельефе стоят в авангарде сейсмической обработки данных. Актуальность решения данной проблемы подкреплена еще и тем, что для получения дополнительной информации для целевой части разреза и выявления перспективных зон коллекторов, требуется сохранение истинных соотношений амплитуд и избавление от искажающих динамические параметры факторов, не связанных с объектами поиска. Одним из подходов, который позволит уменьшить в некоторой мере влияние не идентичности возбуждения и приема сигнала, является использование робастного подхода анализа данных для расчета более устойчивых фильтров деконволюции.

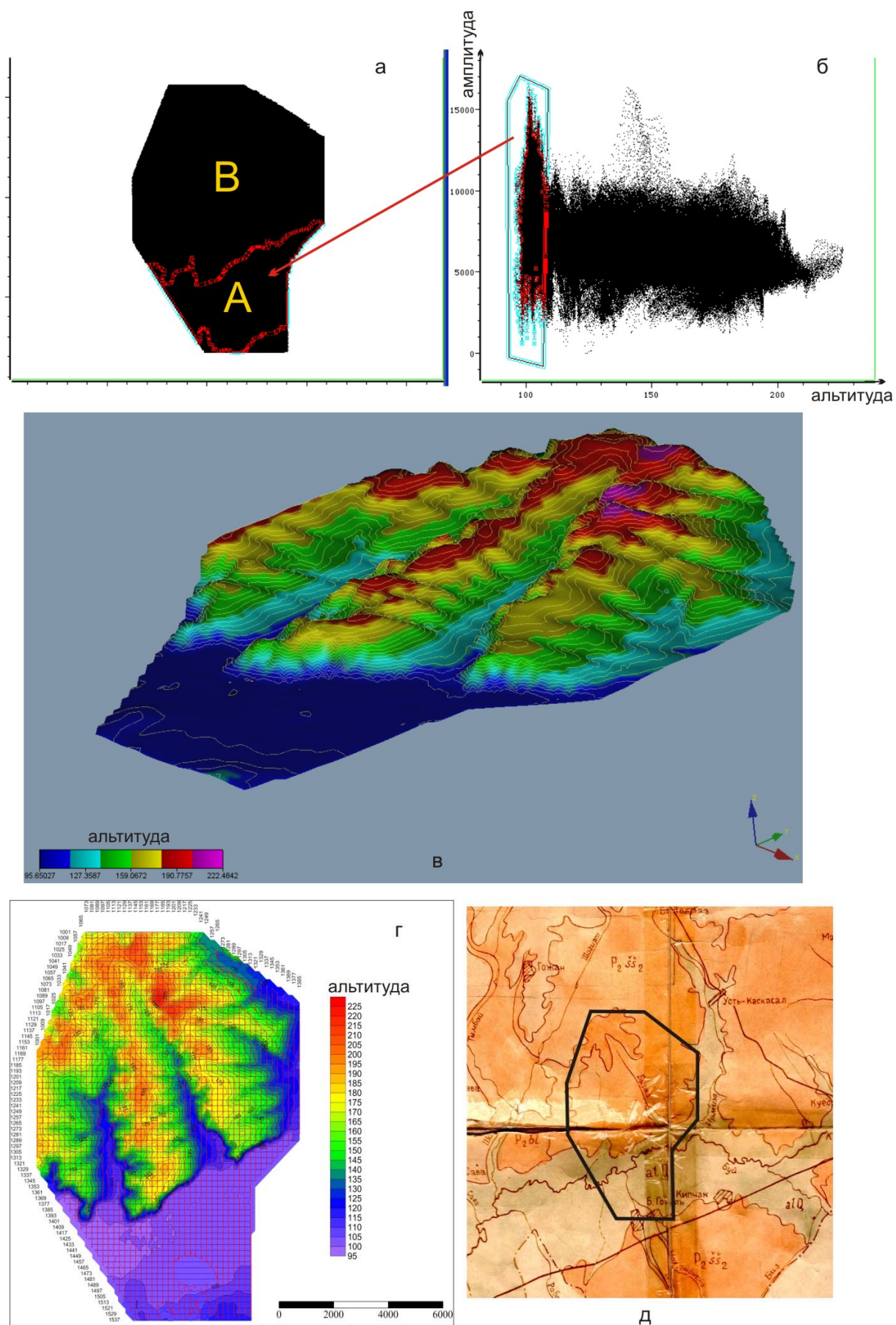


Рис. 5. Схематичный полигон на площади (а) , построенный по аномальным значениям на кросс-плоте альтитуда рельефа- RMS амплитуда (б), трехмерная модель рельефа (в), карта рельефа (г), выкопировка из геологической карты Приуралья (по Грайферу, 1983)

Библиографический список:

1. Д.А. Андреев, С.В. Божокин, И.Д. Вeneвцев, К.Т. Жунусов. Преобразование Габора и непрерывное вейвлетное преобразование для модельных импульсных сигналов // Журнал технической физики, том 84, вып. 10, 2014, С. 10–15.
2. Б.В. Бардин, Математические методы и моделирование в приборостроении, способ деконволюции спектрометрической информации и обнаружения спектральных пиков // Научное приборостроение, том 27, № 2, 2017, С. 75–82.
3. David C. Henley, Gary F. Margrave and Carlos Montana Gabor deconvolution: surface and subsurface consistent // CREWES Research Report, Volume 19, 2007.
4. Gary Margrave, Linping Dong, Peter Gibson, Jeff Grossman, Dave Henley, and Michael Lamoureux. Gabor Deconvolution: Extending Wiener's method to nonstationarity // CREWES Research Report, Volume 15, 2003.
5. Б.И. Грайфер, Л.М. Евдокимова, В.Е. Мокишкова, З.Н. Рассторгуева. Геологическая карта Пермского Приуралья, 1983.

Г. А. ЦВЕТКОВ, А. Д. БУРМИСТРОВ

ПГНИУ, Zvetkov71043@mail.ru, Took.burmistrov@gmail.com

К ВОПРОСУ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ КАРОТАЖНЫХ ПРИБОРОВ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ ПЛАСТА ПРИ БУРЕНИИ LWD В РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

Разработана математическая модель погрешности, возникающей при определении относительного угла наклона оси прибора относительно кровли пласта в процессе бурения. Также разработана коррекция направления бурения. Модель учитывает специфику геонавигации и конструктивные особенности каротажного прибора.

Ключевые слова: Каротажный прибор, геонавигация, модель, погрешность способа определения.

G. A. TCVETKOV, A. D. BURMISTROV

Perm State University, Zvetkov71043@mail.ru, Took.burmistrov@gmail.com

TO THE QUESTION OF IMPROVING THE ACCURACY OF LOGGING INSTRUMENTS FOR MEASURING THE FORMATION RESISTANCE DURING WELL DRILLING IN REAL TIME

A mathematical model of the error arising in determining the relative angle of inclination of the axis of the device relative to the roof of the reservoir during the drilling process has been developed. Correction of drilling direction has also been developed. The model considers the specifics of geosteering and design features of a logging tool.

Key words: Logging tool, geosteering, model, error of determination.

При горизонтально-направленном бурении важным параметром, определяемым в процессе бурения, является относительный угол наклона θ (угол в вертикальной плоскости между осью бурильной колонны и границей формации). Распространенным способом является каротаж во время бурения (до

начала бурения проводятся геофизические изыскания, каротаж во время бурения лишь дополняет и уточняет ранее полученную информацию.

Неправильное определение сопротивления пласта повышает риски при бурении этого пласта, определении мощности и характера залегания пласта в режиме реального времени, что является ключевым моментом обновления стратиграфической модели.

Ранее считалось, что определение трех параметров: горизонтального сопротивления пласта, вертикального сопротивления и относительного угла наклона (между осью скважины и нормальной плоскостью формации) – невозможно. В настоящее время существуют приборы позволяющие определять эти три параметра одновременно, основными элементами такого прибора являются передающие и принимающие антенны. Однако приборы, которые не могут одновременно определять вертикальное сопротивление и относительный угол наклона, также основаны на использовании антенн, передающих и принимающих сигнал. Отличие нового прибора состоит в том, что принимающие и передающие антенны расположены на непараллельных плоскостях, в результате чего исчезает функциональная связь между вертикальным сопротивлением и относительным углом наклона.

Существенное влияние на точность каротажного прибора оказывает точность установки антенн по углу.

Ошибка в установлении угла приведет к ошибке в измерении амплитуды принимаемого сигнала, которая вызовет ошибку в определении сопротивления пласта. Кроме очевидной погрешности установки антенн датчик имеет и множество других погрешностей, влияющих на его точность. Основная проблема, стоящая перед разработчиками в процессе бурения, состоит в необходимости обеспечения качественных измерений в различных формациях. Определение вертикальной и горизонтальной проводимостей пласта, а также относительного угла наклона производится с высокой частотой во все время бурения скважины.

В работе (докладе) показан новый способ, позволяющий одновременное определение относительного угла наклона, вертикальной и горизонтальной электрических проводимостей. Для этого используются прямо-передающие антенны, установленные на непараллельных плоскостях. Непосредственное измерение модуля напряжения на приемной антенне не позволяет определить θ , для определения нужна фильтрация. Вследствие постоянных колебаний буровой колонны, возникающих в процессе бурения, угол θ постоянно изменяется, что позволяет применить для его определения скользящее сглаживание напряжения на приемной антенне. Из-за того, что реальный угол между приемной и передающей антенной отличается от расчетного, возникает ошибка определения θ . При ошибке установки антенн в $0,1^\circ$ ошибка определения θ имеет вид, показанный на рис. 1.

Соотнося величины напряжений, содержащих истинную информацию и ошибочную, можно сделать вывод, что рассогласование антенн на $0,1^\circ$ приводит к появлению погрешности определения θ примерно в 1 %. Последствия неправильного определения навигационных параметров описаны в (Цветков, Ширяев, 2015).

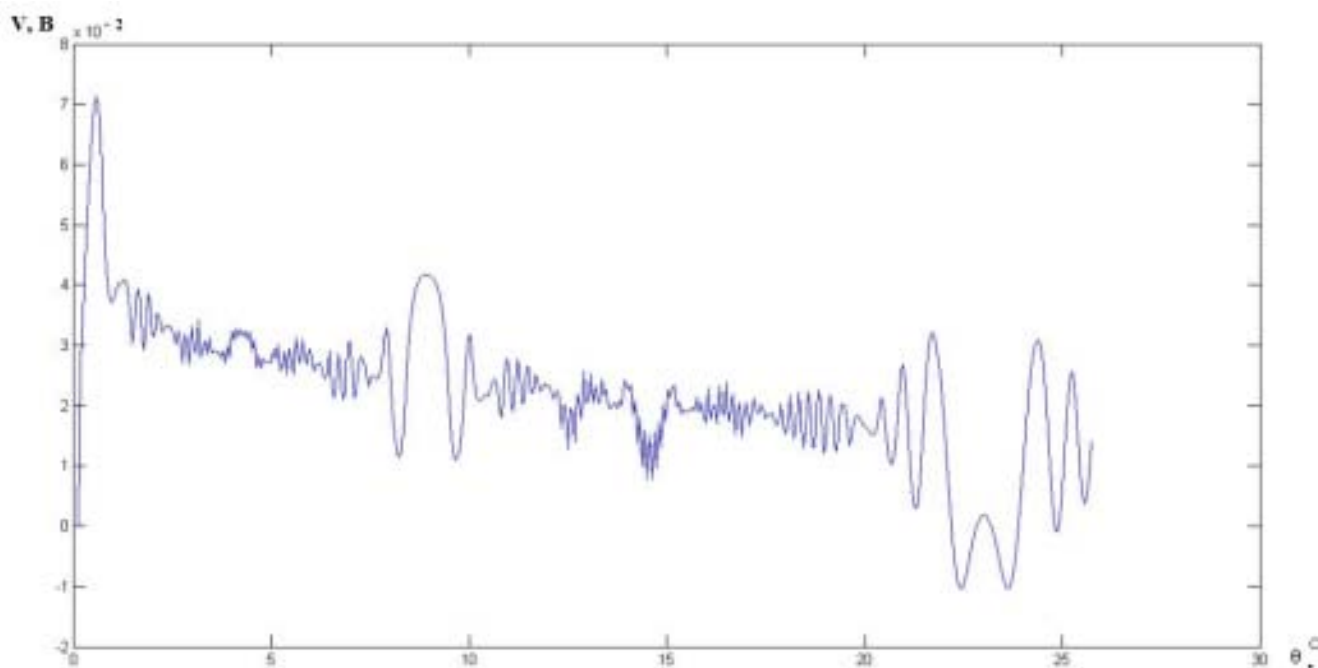


Рис.1. Ошибка определения θ

На основании проведенных исследований (Алдрид, 2001) выявлены закономерности, позволяющие обоснованно подходить к проектированию каротажных приборов, обеспечивающих качественное измерение горизонтального сопротивления пласта, вертикального сопротивления и относительного угла наклона (между осью скважины и нормальной плоскостью формации).

Для уменьшения погрешности каротажного прибора необходимо определить разницу между действительным углом разворота антенн и тем значением, которое используется в алгоритме нахождения проводимостей формации и относительного угла наклона. В алгоритмы, нужно вводить поправку, соответствующую погрешности угла разворота антенн, определение (оценку) погрешности разворота антенн можно проводить с помощью метода, изложенного в работе (Цветков, Ширяев, 2015). Разница между этими углами после введения ее в алгоритм компенсирует описанную погрешность, что позволит повысить точность каротажа.

Библиографический список:

1. *Патент US 7948238 B2, Elektromagnetik wave resistivity tool having atilted anicuna for determining properties of earth formations*, 2011.
2. Алдрид У. и др. Управление риском в бурении // Нефтегазовое обозрение. М., 2001. С. 2–4.
3. *Патент RU 2495374 C1, Устройство для измерения пространственных угловых отклонений*, Цветков Г. А., Утробин Г. Ф., Фёдорова Е. А. 2012.
4. Цветков Г. А., Ширяев П. Р. Повышение точности бурения наклонно-горизонтальных скважин путём совершенствования каротажных приборов // Геология и полезные ископаемые Западного Урала. Пермь, 2015. С. 260–265.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АКУСТИЧЕСКОГО КАРОТАЖА ПРИ ПОВЫШЕНИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГИС

Разработанные методические рекомендации по первичной подготовке скважины к проведению акустического каротажа и повышению данных геофизических исследований скважин Туймазинского месторождения.

Ключевые слова: Геофизические исследования скважин, полезные ископаемые, прострелочно-взрывных работ, цементирование.

Y. L. Sidorov, M. I. Maximov, G. A. Tsvetkov
Perm State University, Sidorow20395@bk.ru

THE USE OF ACOUSTIC LOGGING TO IMPROVE THE EFFICIENCY OF GIS

Developed guidelines for the initial preparation of the well for conducting acoustic logging and improve the data of geophysical research of wells Tuymazy oilfield.

Key words: well logging, minerals, and shooting works, the cementation

Введение

В настоящее время геофизика занимает первое место в развитии нефтедобычи. В работе рассмотрено применение акустического каротажа для определения качества цементирования нефтяного месторождения Туймазинской площади. Наиболее широкое применение геофизические методы получили при изучении нефтяных и газовых скважин в процессе их бурения, опробования и эксплуатации.

Геофизические методы исследования скважин – один из разделов прикладной геофизики – это совокупность физических методов, предназначенных для изучения горных пород в около скважинном и межскважинном пространствах. Они применяются для решения геологических и технических задач, связанных с поисками, разведкой и разработкой месторождений полезных ископаемых, а также с изучением гидрогеологических и других особенностей исследуемых районов.

Исследование скважин Туймазинской площади расположенной в западной части Башкортостана геофизическими методами проводится по четырем направлениям:

1. изучение геологических разрезов скважин;
2. изучение технического состояния скважин;
3. контроль разработки месторождений нефти и газа;
4. проведение прострелочно-взрывных и других работ в скважинах геофизической службой.

ГИС включает акустический каротаж –основанный на изучении полей упругих колебаний в звуковом и ультразвуковом диапазонах частот. В АК (акустический каротаж) по затуханию регистрирует не энергию волн, а их амплитуды. Количественная зависимость затухания выражается формулой $e^{-\alpha(L1-L2)}$, где

A_1 и A_2 – значения амплитуд регистрируемого сигнала на расстояниях $L1$ и $L2$ от излучателя; α –эффективный коэффициент поглощения упругой волны

В обсаженной скважине коэффициент поглощения α зависит от диаметра ОК и толщины ее стенок, однако влияние этих факторов мало. Существенно и в большей степени зависит от состояния цементного кольца. Если цемент не затвердел и находится в жидком состоянии, он слабо влияет на затухание продольной волны, распространяющейся по обсадной колонне (ОК), т.е. колонна проявляет себя как свободная.

При затвердевании цемента и его сцеплении со стенками ОК энергия волны расходуется на возбуждение не только колонны, но и связанного с ней цементного кольца, поэтому затухание значительно больше. Примерно через сутки после заливки, когда раствор практически превращается в цементный камень, коэффициент затухания α увеличивается более чем на порядок по сравнению с первоначальным значением. Некачественное цементирование показано на рисунке 1.

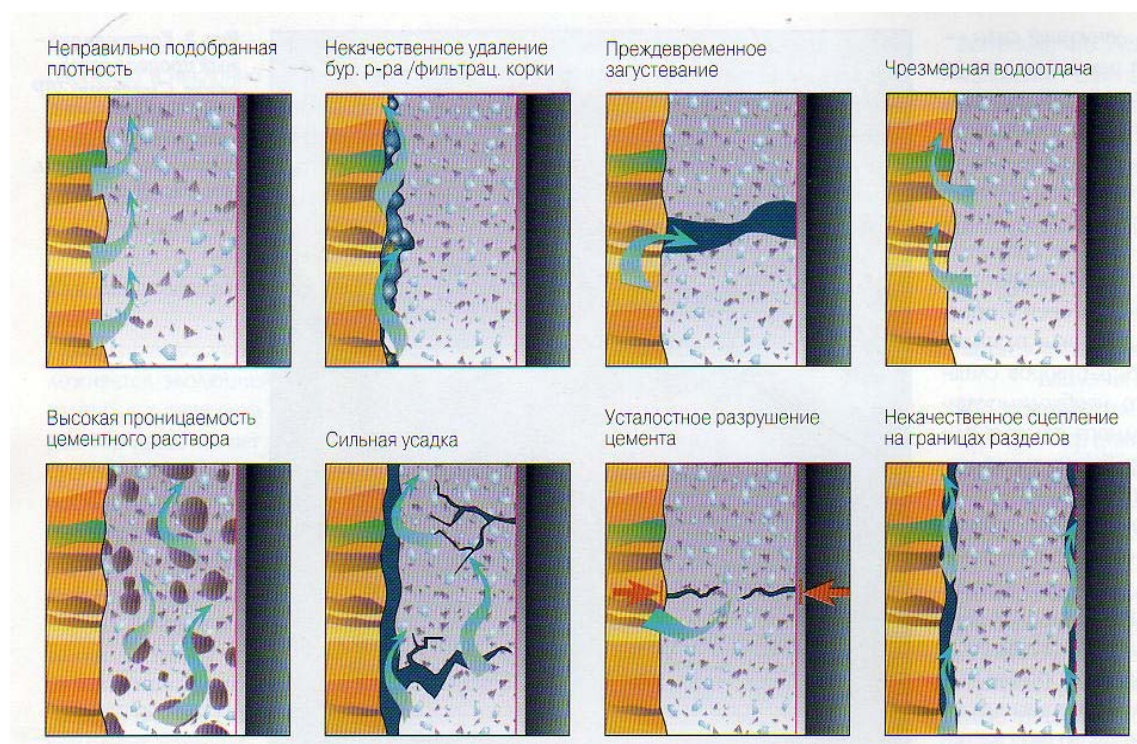


Рис. 1 Некачественное цементирование

При некачественном цементировании главными определяющими параметрами будут являться:

- плотность цементирования, которая может привести к нарушению гидростатического равновесия,

- некачественное удаление бурового раствора и/или фильтрационной корки оставляет каналы, по которым газ поднимается по затрубному пространству,
- преждевременное загустевание выражается в потере гидростатического давления,
- чрезмерная водоотдача создает свободное пространство в столбе цемента, в которое проходит газ,
- высокая объемная усадка цемента ведет к увеличению пористости напряжений в цементном кольце, что может вызвать образование микрокольцевого пространства,
- усталостное разрушение цемента которое способствует газовому разрыву цементного кольца,
- плохое сцепление цемента может вызвать нарушение на границах раздела цемент – обсадная колонна или цемент – порода..

Выбор аппаратуры

Для контроля качества цементирования акустическим методом применяется аппаратура: АКЦ-48 и МАК-2.

Аппаратура предназначена для контроля качества цементирования и технического состояния скважин.

Контроль качества цементирования и технического состояния геологоразведочных, нефтегазовых, гидрогеологических и других скважин, оборудованных обсадными колоннами с внутренним диаметром 60–250 мм и наклоном до 90° скважин с глубиной до 6000 м. Допускается доставка скважинного прибора Мак-2(рис.2) на забой через буровой инструмент с проходным отверстием не менее 60 мм с применением центраторов рессорного типа. Передатчиком излучений является магнитострикционный радиальный, приемники пьезокерамические.

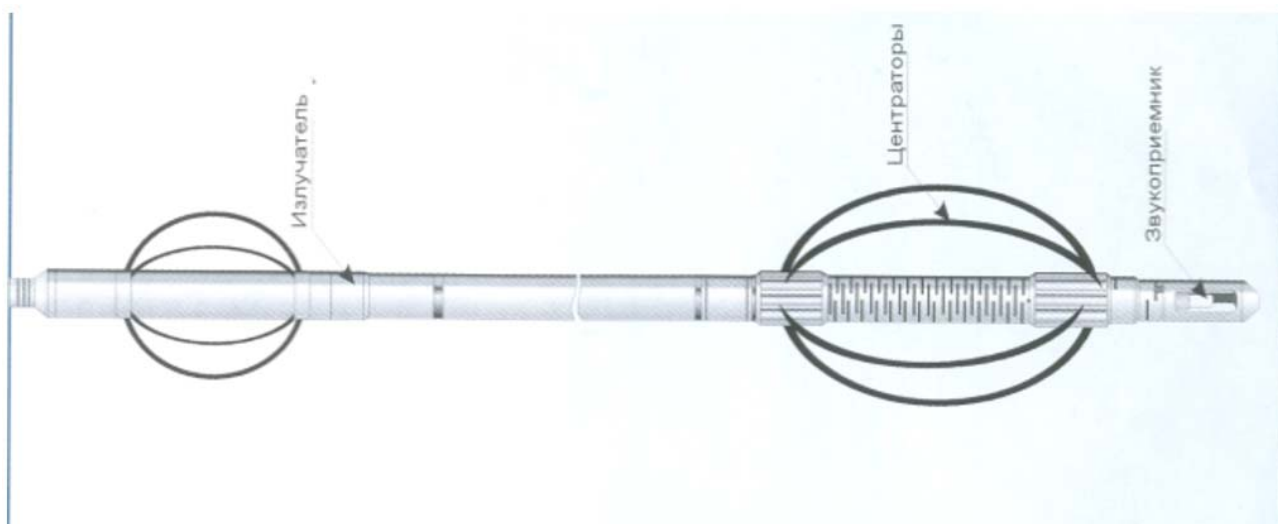


Рис. 2 Прибор акустической цементометрии Мак-2

Условия эксплуатации:

Температура в интервале исследований – до 120°С.

Максимальное значение давление – 80 МПа.

Габаритные размеры:

- диаметр прибора– не более 120 мм;
- длина прибор– не более 3200 мм;

Масса прибора не более - 70 кг.

Основные технические данные прибора АКЦ-48

Собственная частота излучения, кГц около	20
Формула измерительного зонда	$I_2 0,25 I_1 1,5 P$
Частота посылок, Гц	12,5
Диапазон преобразований интервального времени, мкс/м	120-600
Верхние пределы диапазона преобразований коэффициента затухания, не менее дБ/м	36

Методика определения качества цементирования по данным АКЦ-48

Наибольшую информацию о качестве цементирования обсадных колонн позволяет получить акустический метод.

Он позволяет определить:

1. высоту подъема цемента;
2. наличие или отсутствие его в колонне;
3. наличие каналов, трещин, каверн в том числе малых размеров;
4. степень сцепления цемента с колонной и породами;
5. процесс формирования цементного камня во времени.

Контроль за цементированием затрубного пространства акустическим методом основан на измерении амплитуд преломленных продольных волн, распространяющихся по обсадной колонне T_k . При интерпретации кривых акустического цементометра за основу берутся показания кривой A_k , кривые A_n и T_n являются вспомогательными.

Кривая T_n достигает максимального значения на участках колонны с хорошим сцеплением цементного камня с колонной и плохим сцеплением с породой. В этом случае величина T_n близка ко времени пробега упругой волны по колонне T_k наблюдается в интервалах, характеризующихся высокой скоростью распространения колебаний в породе при жесткой связи цементного камня с колонной и стенками скважины.

Совместная интерпретация данных акустической цементометрии, акустического метода в необсаженной скважине и волновых картин позволяет наиболее правильно оценить качество цементирования обсадных колонн. Для комплексной оценки качества цементирования обсадных колонн наряду с материалами акустических методов следует привлекать данные термометрии, гамма-гамма-метода, кавернометрии и электрометрии. Минимальные значения амплитуд трубной волны A_k свидетельствуют о хорошем сцеплении цементного камня

Все виды геофизических работ проводятся по стандартному комплексу, для решения конкретных задач, или по специальному плану, составленному Заказчиком и согласованному с главным геологом УГР.

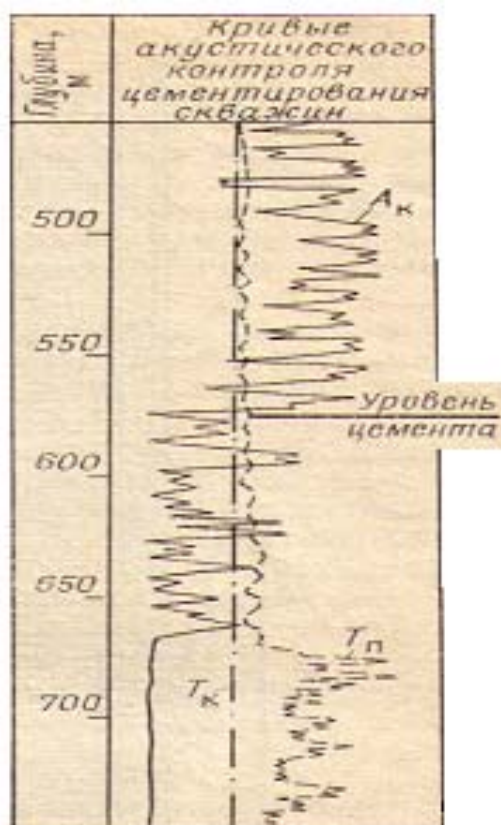


Рис. 3 Пример определения качества цементирования обсадной колонны по данным акустического метода

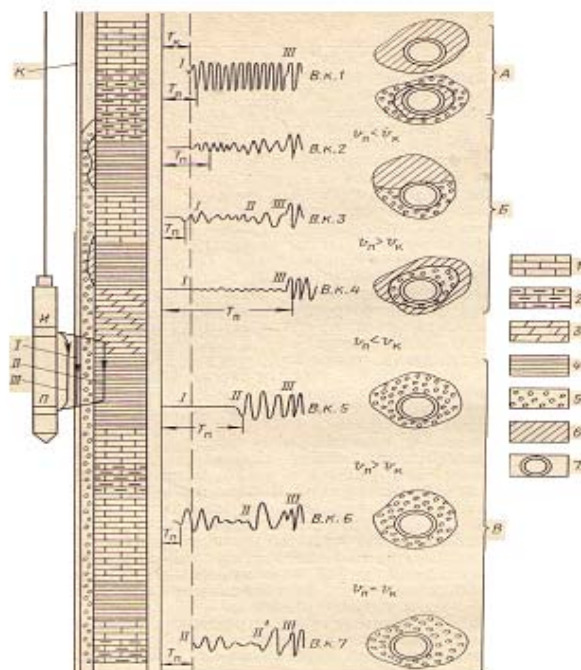


Рис. 4 Определение качества цементирования обсадной колонны по волновым картинам.

1 – известняк; 2 – известняк глинистый; 3 – мергель; 4 – глина; 5 – цемент; 6 – промывочная жидкость; 7 – колонна. Волны: I – по колонне; II – по породе; III – по промывочной жидкости обсадной колонны. К – колонна; в.к. – волновая картина; А – участок незацементированной колонны; Б – частично зацементированная колонна, В – полностью зацементированная колонна.

Для повышения эффективности ГИС с помощью акустического каротажа применяют программы Кедр для регистрации основных данных контроля качества цементирования, а так же программу WscPack которая служит для сжатия информации. Сжатие информации является одним из способов ее кодирования. Вообще коды делятся на три большие группы – коды сжатия (эффективные коды), помехоустойчивые коды и криптографические коды. Коды, предназначенные для сжатия информации, делятся, в свою очередь, на коды без потерь и коды с потерями. Кодирование без потерь подразумевает абсолютно точное восстановление данных после декодирования и может применяться для сжатия любой информации. Кодирование с потерями имеет обычно гораздо более высокую степень сжатия, чем кодирование без потерь, но допускает некоторые отклонения декодированных данных от исходных.

Основными факторами влияющими на искажение регистрируемых сигналов при децентрации прибора являются изменение угла падения (излучения) волны на датчик прибора и фокусирование энергии из-за кривизны отражающей (преломляющей границы) волны.

Все акустические приборы, в том числе для контроля цементирования, которые необходимо центрировать при каротаже, имеют проблемы при работе в наклонно-направленных и горизонтальных скважинах из-за децентрации. Для правильной интерпретации АКЦ в таких скважинах необходимо точное знание величины децентрации прибора, для чего необходимо изучить влияние децентрации на регистрируемый сигнал приборов с направленными датчиками с целью определения диапазона применения данного типа приборов, разработки способов компенсации эксцентриситета, формирования дополнительных требований к метрологическому обеспечению приборов с направленными датчиками для обеспечения единства измерений.

Библиографический список:

1. Дьяконов Д. И., Леонтьев Е. И., Кузнецов Г. С. «Общий курс геофизических исследований скважин» М., Недра 1977
2. С. Г. Комаров. Геофизические методы исследования скважин. М., Недра
3. Ларионов В. В, Резванов Р. А. «Ядерная геофизика и радиометрическая разведка» М., Недра, 1976

О.Н. Ковин

ПГНИУ, Пермь, on_kovin@psu.ru

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МИГРАЦИИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ АВТОМАТИЧЕСКОГО ПИКИРОВАНИЯ ГЕОРАДИОЛОКАЦИОННЫХ ДАННЫХ В СЛУЧАЕ ДИФРАКЦИИ НА КРИВОЛИНЕЙНЫХ ГРАНИЦАХ

Автоматическое пикирование широко используется для повышения скорости и удобства корреляции отражающих границ при интерпретации сейсмических и георадарных данных. В случае криволинейных границ георадарные данные часто зашумлены дифра-

гированными волнами, что существенно осложняет корреляцию целевых отражений. Использование миграции данных позволяет очистить запись от дифрагированных волн и производить автоматическое пикирование отражающих горизонтов.

Ключевые слова: георадиолокация, миграция, дифракция

O.N. Kovin

Perm State University, on_kovin@psu.ru

MIGRATION OF GEORADAR DATA TO INCREASE THE EFFECTIVENESS OF AUTOMATIC PICKING IN CASE OF DIFFRACTION BY THE UNEVEN INTERFACES

Automatic picking is widely used to speed up and facilitate the correlation of reflection interfaces during the interpretation of seismic and georadar data. In case of uneven interfaces, the georadar data are contaminated with the diffraction patterns making difficult tracing the target reflections. Usage of migration allows clearing up diffractions and carrying out the automatic picking of the events.

Key words: georadar data, migration, diffraction

Пикирование (прослеживание сигнала) играет важную роль при обработке данных волновых методов, таких как сейсморазведка и георадар. Этот метод обработки используется для прослеживания первовступлений при проведении работ методом преломленных волн, томографии, в сейсмологии и для корреляции границ в методе отраженных волн. Автоматические алгоритмы пикирования, получившие широкое распространение в последнее время, позволяют существенно сократить время на обработку больших объемов данных, характерных для современных исследований. Разработано большое количество алгоритмов, использующих для трассирования сигналов различные их характеристики, такие как параметры корреляции, разнообразные статистические оценки, нейронные сети и т.д. (Akram, 2011). Однако, в случае обработки георадарных данных, полученных в разрезах с криволинейными границами раздела, использование автоматических алгоритмов пикирования затруднено в связи с искажениями целевых отражений за счет дифракции на локальных неоднородностях (Ковин, 2011).

Метод георадиолокационного зондирования (георадар) использует короткие электромагнитные импульсы наносекундного диапазона для регистрации отраженных от неоднородностей среды сигналов. В случае плоских непрерывных границ на радарограмме образуются непрерывные оси синфазности отраженных сигналов, соответствующие их геометрии и, которые легко могут быть прокоррелированы вручную и/или с использованием автоматических алгоритмов. В случае криволинейных или прерывистых границ их прослеживание/корреляция существенно затрудняется в связи с зашумлением радарограмм дифрагированными волнами, образованными на их резких перегибах и краях пластов в зонах разрыва сплошности.

На радарограмме, показанной на рис. 1, отражения от границ разреза в значительной степени осложнены за счет дифрагированных волн, образованных на участках резких изгибов пластов. Представленные данные зарегистрированы в руднике СКРУ-3 (бывшее ОАО «Сильвинит») в 2005 году. Наблюдения проводились на уровне подстилающей каменной соли (ПдКС) и отражения относятся к глинисто-ангидритовым пропласткам.

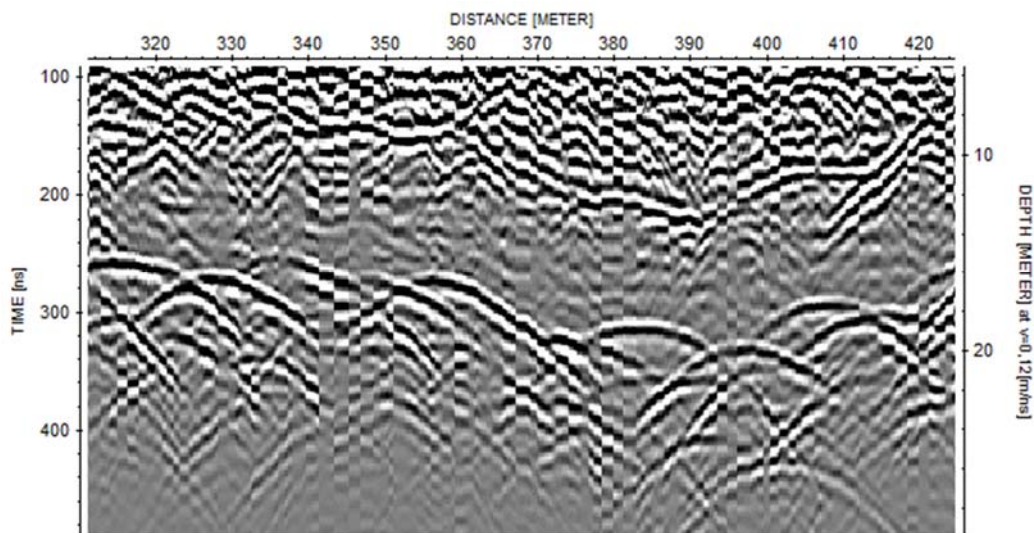


Рис. 2. Часть необработанной радарограммы разреза ПдКС. Основная отражающая граница на глубинах около 20 м относится к слою маркирующей глины метровой мощности.

Работы проводились с георадаром ОКО компании Logis и антенной 50 МГц методом непрерывного профилирования. Обработка и интерпретация данных проводилась с помощью пакета программ ReflexW.

Очевидно, что по представленным данным корреляция отражений от слоя маркирующей глины затруднено, а, использование автоматического пикирования невозможно в связи с отсутствием непрерывных осей синфазности. Для удаления дифрагированных волн и минимизации их влияния на прослеживание целевых отражений был использован алгоритм миграции методом простого дифракционного суммирования (diffraction stack) (Козлов, 1986). Суммирование проводилось с использованием скорости распространения электромагнитных волн в соляных породах 0,12 м/нс (Ковин, 2017).

После суммирования с апертурой приблизительно равной средней ширине годографов дифрагированных волн были получены данные представленные на рис. 2. На мигрированной радарограмме четко прослеживается непрерывное отражение от маркирующей глины, которое уже можно пикировать с помощью автоматических алгоритмов.

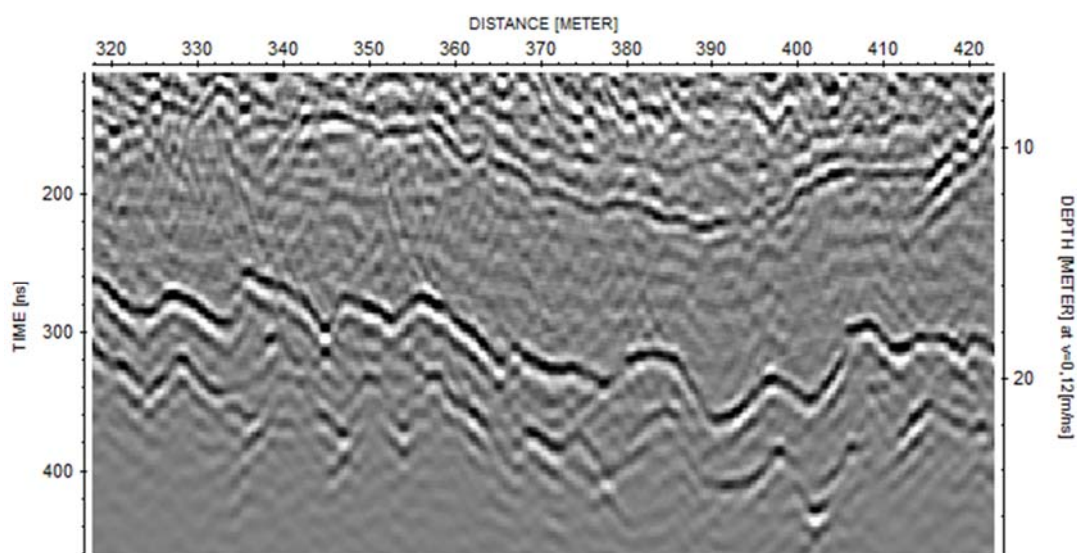


Рис. 3. Фрагмент мигрированного георадарного разреза. На радарограмме можно уверенно проследить несколько границ раздела.

После миграции данных была использована процедура автоматического пикирования основных отражающих горизонтов из программы ReflexW. При этом были введены статические поправки по профилю и производился пересчет значений временных задержек в глубины. Весь профиль наблюдений с коррекцией амплитуд и введенными поправками за рельеф выработки дан на рисунке 3.

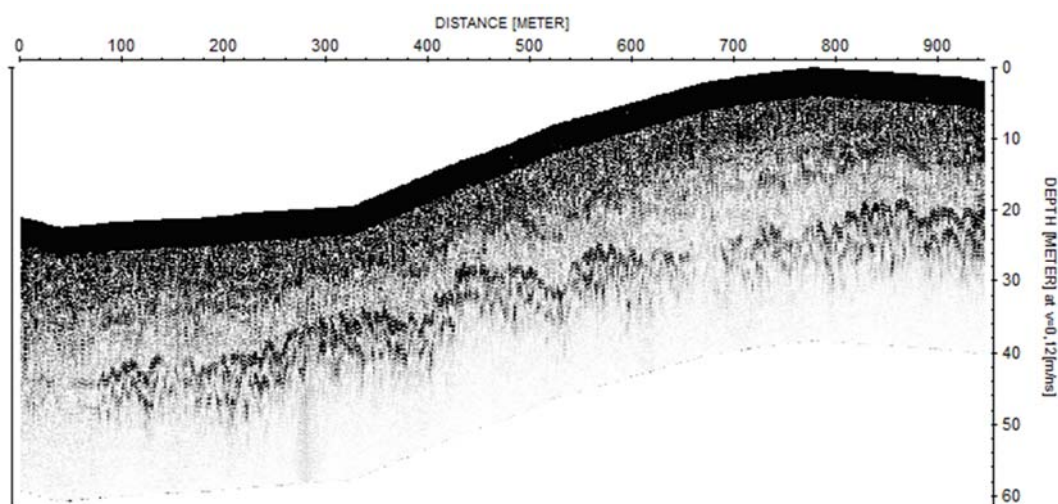


Рис. 4. Полный георадарный разрез по профилю в подстилающей каменной соли.

После автоматического пикирования основных отражающих горизонтов был получен приближенный к реальному разрез геологических границ (рис. 4). На представленном примере показана необходимость проведения миграции данных при проведении наблюдений в средах с криволинейными границами. Только в этом случае мы можем эффективно использовать автоматическое пикирование отражений и получать достоверную информацию о геометрии пластов.

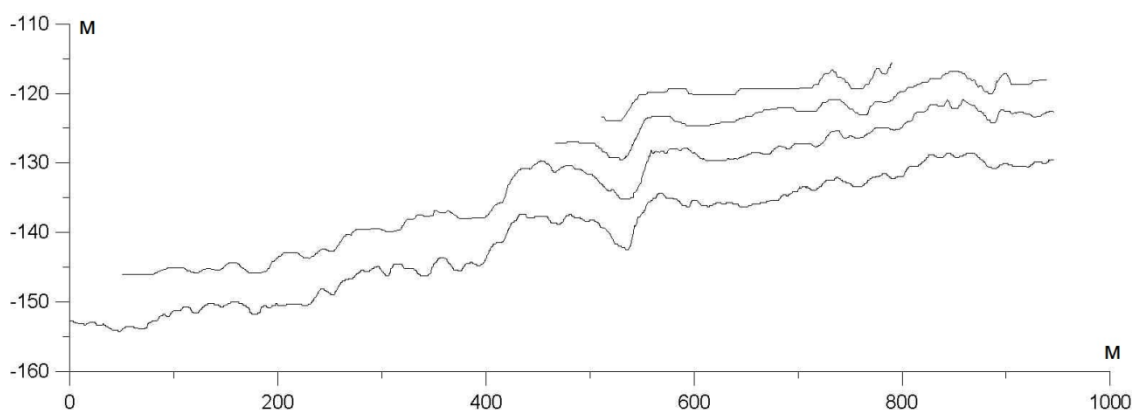


Рис. 5. Разрез отражающих границ на участке пласта подстилающей каменной соли.

Библиографический список:

1. Козлов Е.А. Миграционные преобразования в сейсморазведке / Е.А. Козлов – М.: Недра, 1986. – 247 с.
2. Ковин О.Н., Жуков А.А., Ворошилов В.А. Изучение анизотропии сильвинитовых пород методом георадар: Верхнекамское месторождение калийных солей // Теория и практика разведочной и промысловой геофизики. ПГНИУ. 2017. С. 120–123
3. Akram Jubran. Automatic P-wave Arrival Time Picking Method for Seismic and Microseismic Data (Электронный ресурс) // Abstr. CSPG CSEG CWLS Convention. 2011. URL: https://www.geoconvention.com/archives/2011/089-Automatic_P-wave_ArrivalTime.pdf (дата обращения 20.03.2019)
4. Kovin O. Mapping of evaporite deformation in a potash mine using ground penetrating radar: Upper Kama deposit, Russia. Journal of Applied Geophysics. 2011. Vol. 74. Issues 2–3. pp. 131–141.

Ю.И. Степанов¹, С.М. Костарев², А.В. Горожанцев², А.А. Тайницкий¹

¹Горный институт УрО РАН; stepanov@mi-perm.ru

²ПГНИУ, gav@psu.ru

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭЛЕКТРОМЕТРИИ ПРИ ПОИСКЕ УЧАСТКОВ ЗАСОЛОНЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД В ЗОНЕ АКТИВНОГО ВОДООБМЕНА

Представлены результаты обработки и интерпретации данных метода вертикального электрического зондирования приповерхностной части разреза на отдельном участке месторождения нефти вблизи наблюдательной гидрогеологической скважины. Построены разрезы кажущихся сопротивлений, геоэлектрические разрезы, схемы изменения кажущихся сопротивлений. Получены количественные оценки минерализации подземных вод исследуемого объекта на основе установленных корреляционных связей между удельными электрическими сопротивлениями и общей минерализацией водоносных горизонтов с учетом химического состава и концентрации солей в пробах, взятых из наблюдательной скважины. Указаны вероятные источники засоления подземных вод.

Ключевые слова: электрометрия, зона аэрации, геоэлектрический разрез, минерализация, подземные воды, наблюдательная скважина, засоление подземных вод

ELECTROMETRY RESULTS FOR SEARCHING OF SALTING ZONES OF UNDERGROUND WATER IN THE AREA OF ACTIVE WATER EXCHANGE

The results of processing and interpreting the data of the method of vertical electrical sounding of the near-surface part of the section in a separate section of the oil field near the observation hydrogeological well are presented. The sections of apparent resistances, geoelectric sections, schemes of changes in apparent resistances are constructed. Quantitative estimates of the groundwater salinity of the object under study were obtained on the basis of established correlations between specific electrical resistances and total salinity of aquifers, taking into account the chemical composition and salt concentration in samples taken from the observation well. The probable sources of groundwater salinization are indicated.

Key words: electrometry, aeration zone, geoelectric section. mineralization, groundwater, observation well, groundwater salinization

На современном этапе в соответствии с условиями лицензий на недропользование все заинтересованные организации должны проводить мероприятия по обеспечению безопасности и охраны окружающей среды, в том числе объектов гидросферы, направленные на обнаружение возможного загрязнения, контроль допустимой нагрузки, прогноз изменений состояния и управление воздействием (Степанов, Катаев, 2000). Нефть и нефтепродукты являются одним из активных загрязнителей природной среды при разведке, эксплуатации месторождений нефти, ее переработке и т.д. Высокая подвижность нефти создает условия для загрязнения почвы, зоны аэрации и грунтовых вод. Растворимость нефти весьма велика, поэтому ее миграция может вызывать загрязнение большого объема подземных вод. В результате значительное превышение предельно допустимых концентраций нежелательных элементов в водах хозяйственно-питьевого назначения, которые для нефти и большинства нефтепродуктов колеблются в пределах от 0,01 до 0,3 мг/л, может привести к серьезным последствиям (Кирюхин, 2010).

На предприятиях нефтедобывающей промышленности для решения задач геоэкологии все более широко привлекаются геофизические исследования, в частности, методы электрометрии (Костарев, Колесников, Шатова, 1999; Колесников, Костарев, 2002).

Целью данной публикации является выявление методами электрометрии наличия засоления подземных вод и его возможных источников в зоне активного водообмена приповерхностной части разреза на участке Моховского месторождения нефти.

Определяемые для достижения цели задачи включают в себя: проведение полевых электроразведочных наблюдений методом вертикального электрического зондирования; выполнение цифровой обработки и интерпретации полученных данных; анализ результатов, определение возможного загрязнения подземных вод и его причин на участке исследования.

Объект исследования на участке нефтяного месторождения представлен горными породами приповерхностной части разреза в радиусе 300 м до глубины не менее 80 м относительно устья имеющейся наблюдательной гидрогеологической скважины (2-НГ).

Таблица 1. Характеристика пород

№ п/п	Геологический возраст пород	Описание пород	Мощность пласта, м	Глубина подошвы пласта, м
1	Q	Глина коричневая с щебенкой известняка	14,0	14,0
2	P_1	Известняк серый, темно-серый, крепкий, трещиноватый, закарстованный с прослоями мергеля	76,0	90,0

Геологическая информация об объекте исследования, материалы лабораторных гидрогеологических и скважинных наблюдений в наблюдательной скважине были предоставлены отделом мониторинга и проектирования экологической безопасности Филиала ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» «ПермНИПИнефть» в городе Перми. Согласно данным ООО «БРАС», производившему сооружение скважины 2-НГ, абсолютная отметка устья которой равна 247 м, при бурении пройдены породы, характеристика которых указана в таблице 1.



Рис. 1. Аппаратура метода сопротивлений АМС-1: а – генератор тока, б – измеритель

Полевые электрометрические наблюдения методом вертикального электрического зондирования (ВЭЗ) выполнены сотрудниками лаборатории наземной и подземной электрометрии ГИ УрО РАН в летний период 2018 г. с использованием аппаратуры метода сопротивлений АМС-1 (рис. 1), которая создана при содействии кафедры геофизики ФГБОУ ВО «Пермский государственный национальный исследовательский университет» и ООО НПП «Интромаг», характеризуется повышенной помехозащищенностью и высокой точностью измерений.

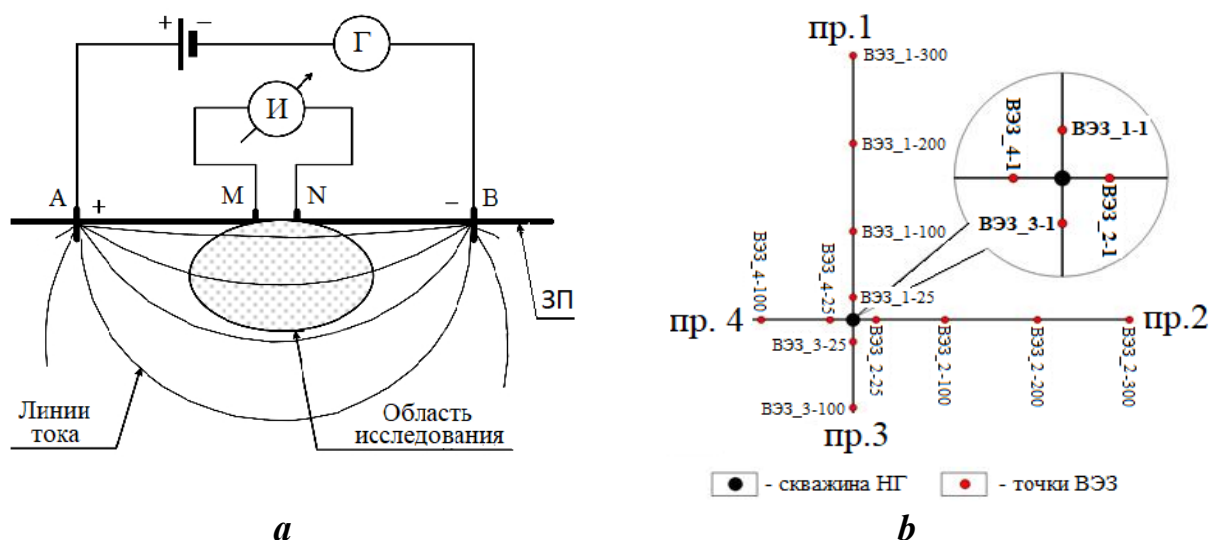


Рис. 2. Схема измерений электрического сопротивления симметричной четырёхэлектродной установкой АМНВ: Г – генератор тока; И – измеритель; ЗП – земная поверхность (а). Фрагмент схемы профилей с точками ВЭЗ (б)

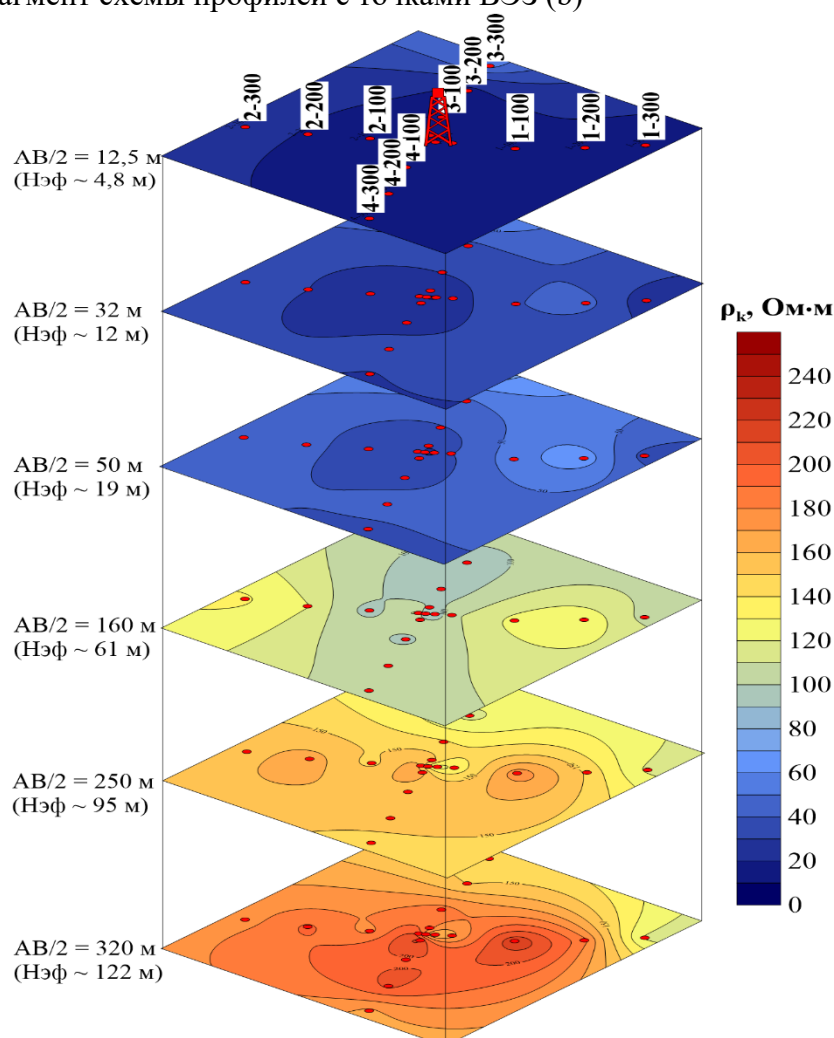


Рис. 3. Планы изоом кажущихся сопротивлений

На исследуемом участке при помощи симметричной четырёхэлектродной установки АМНВ (рис. 2, а) измерения проведены в 20 точках ВЭЗ. Для обеспечения уверенного заземления применялись штыревые электроды: стальные в линии АВ и медные в линии МN. Максимальная величина силы тока I_{AB} , подавае-

мого в линию АВ, не превышала 100 мА. Метод ВЭЗ является сравнительно простым, наглядным, что и привело к его широкому распространению в мировой практике.

При выполнении полевых работ система наблюдений ориентировалась относительно устья имеющейся на участке исследования наблюдательной гидрогеологической скважины (2-НГ). Она представляет собой четыре профиля каждый протяженностью по 300 м, которые условно можно сгруппировать в две взаимно перпендикулярные линии наблюдения: первая линия профиль 1-2, вторая линия профиль 3-4 (рис. 2, *b*). На каждом профиле точки ВЭЗ удалены от устья скважины, располагающейся в точке пересечения линий наблюдения, на расстояние 1, 25, 100, 200 и 300 м. Оценка точности электрометрических наблюдений выполненных по вышеуказанной схеме составила не более 5 %.

В результате обработки полевых наблюдений по измеренным значениям разности потенциалов ΔU_{MN} между заземлителями М и N приемной линии электроразведочной установки определялся эффективный параметр, в частности, кажущееся удельное электрическое сопротивление ρ_k горных пород на основании следующего известного выражения: $\rho_k = K \cdot \Delta U_{MN} / I_{AB}$. Здесь К – геометрический коэффициент (зависит от расстояний между электродами А, В, М и N), I_{AB} – сила тока, подаваемого в питающую линию АВ.

На основании результатов цифровой обработки с использованием геостатистического метода (Kriging) интерполяции в программе Surfer построены планы изометрии КС (рис. 3), позволяющие проследить изменение электрических свойств изучаемого объекта с глубиной в точках ВЭЗ от поверхности до эффективной глубины $H_{эф}$ проникновения электрического поля. Эта величина рассчитана с учетом соотношения $H_{эф} \approx AB/6$. Как видно из рисунка на планах хорошо просматривается увеличение КС от минимальных значений, составляющих первые единицы ом-метров в приповерхностной части разреза, до значений 60-70 Ом·м на глубине $H_{эф} = 12-15$ м, что соответствует толще четвертичных Q отложений. Далее от значений 70-80 Ом·м для глубин $H_{эф}$ порядка 15-19 м до значений 100-160 Ом·м соответствующих вскрытой карбонатной толще нижнепермских P_1 отложений на глубине 90 м. Для более глубоких горизонтов ($H_{эф} = 122$ м) значения КС увеличиваются до 200 и более ом-метров.

Таким образом, значения ρ_k четвертичных отложений имеют пониженные значения относительно подстилающих их карбонатных пород. Заметно, что экстремальные величины КС на всех планах изометрии тяготеют к месту расположения наблюдательной скважины.

Обработка и интерпретация данных ВЭЗ производилась с использованием пакета программ IPI2Win(IP), разработанного на кафедре геофизики ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова» и широко применяемого как в Российской Федерации так и в странах СНГ при обработке данных электроразведки на постоянном токе (Бобачев и др., 2006).

На рисунке 4, согласно представленной схеме наблюдений (рис. 2, *b*), приведены построенные разрезы КС, полученные по двум взаимно перпендикулярным линиям наблюдений (профиль 1-2 и профиль 3-4). В данной публикации на разрезах КС по вертикальной оси отложены не полуразносы АВ/2 приёмной

линии, как предусмотрено программой, а абсолютные высотные отметки (Alt) в метрах с учетом отношения $H_{эф} \approx AB/6$. Данная трансформация позволяет строить разрезы КС с учетом абсолютных отметок рельефа в точках ВЭЗ.

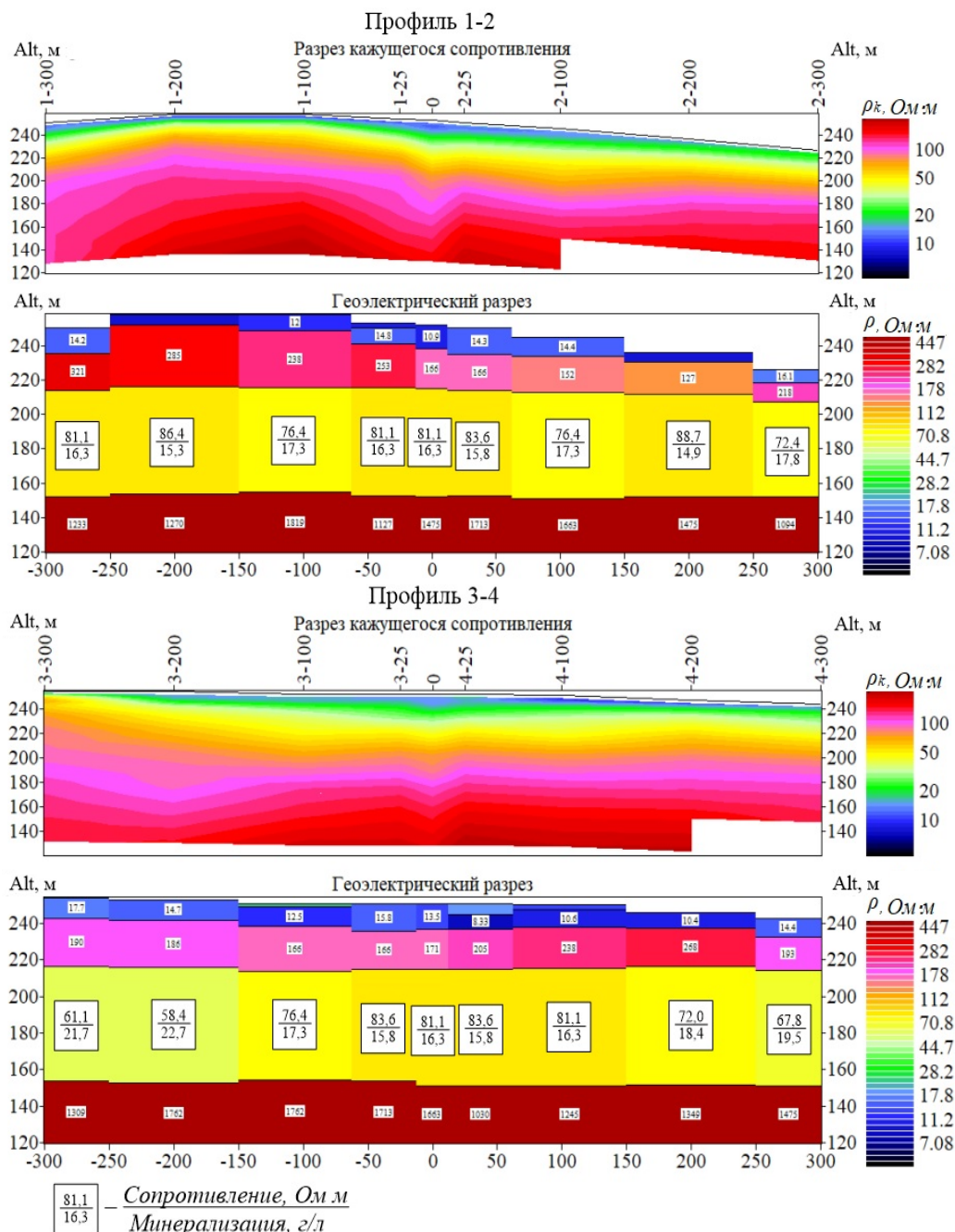


Рис. 5. Разрезы кажущихся сопротивлений и геоэлектрические разрезы по линиям наблюдений профиль 1-2 и профиль 3-4

Из рисунков видно, что значения ρ_k на обеих линиях наблюдений изменяются от 10 до 200 Ом·м. В приповерхностной части разреза, приуроченной к четвертичным отложениям, они имеют меньшие значения. С увеличением глубины проникновения тока величина ρ_k равномерно увеличивается. Аномальных зон, которые бы указывали на наличие неоднородностей в разрезе, не наблюдается. Изолинии КС здесь имеют почти горизонтальное простирание. Пониже-

ние значений КС у ПК 0, очевидно, связано с влиянием обсадной колонны наблюдательной скважины.

На рис. 4 также приведены геоэлектрические разрезы, схематично отображающие изменение электрических свойств геологических толщ, залегающих в интервале глубин от поверхности, примерно, до 90÷120 м. Для профилей 1-2 и 3-4 разрезы представлены четырехслойными электрическими моделями. Показано, что сопротивление ρ слоев изменяется в широких пределах от единиц до 1800 Ом·м.

Приповерхностная часть разреза на обеих линиях наблюдений, включающая один слой с электрическим сопротивлением от первых единиц до 10-15 Ом·м, характеризует строение и физическое состояние четвертичных отложений представленных коричневыми глинами с щебенкой известняка. Общая мощность слоя в разрезе колеблется от 6 до 17 м.

Четвертичные отложения подстилаются вторым слоем, представленным трещиноватыми закарстованными известняками с включением прослоев мергелей. Сопротивление пород в нем составляет порядка 150-350 Ом·м. Подошва данного слоя находится на глубине 30-35 м.

Ниже этих отметок по разрезу выделяется водоносный горизонт. Электрическое сопротивление его находится в пределах 60-90 Ом·м. Мощность водоносного слоя порядка 55-65 м. Опорный электрический горизонт с удельными электрическими сопротивлениями более 1500 Ом·м выделен на абсолютной отметке около 150 м (на глубине порядка 90 м от устья скважины).

Используя корреляционные связи между удельным электрическим сопротивлением и водно-физическими свойствами пород (Справочник геофизика, 1990; Галин, 1989), произведена оценка общей минерализации в интервале глубин соответствующих расположению третьего слоя, являющегося основным водоносным горизонтом во вскрытой скважиной части разреза. Из разрезов видно, что она изменяется в пределах от 14,9 до 22,7 г/л.

Схема изменения общей минерализации основного водоносного горизонта в пределах исследуемого участка представлена на рисунке 5.

Видно, что повышенная минерализация до 22 г/л отмечается в северо-восточной части профиля 3-4 на т. ВЭЗ 3-200. В юго-западной части этого профиля на т. ВЭЗ 4-300 минерализация так же повышенная до 19 г/л.

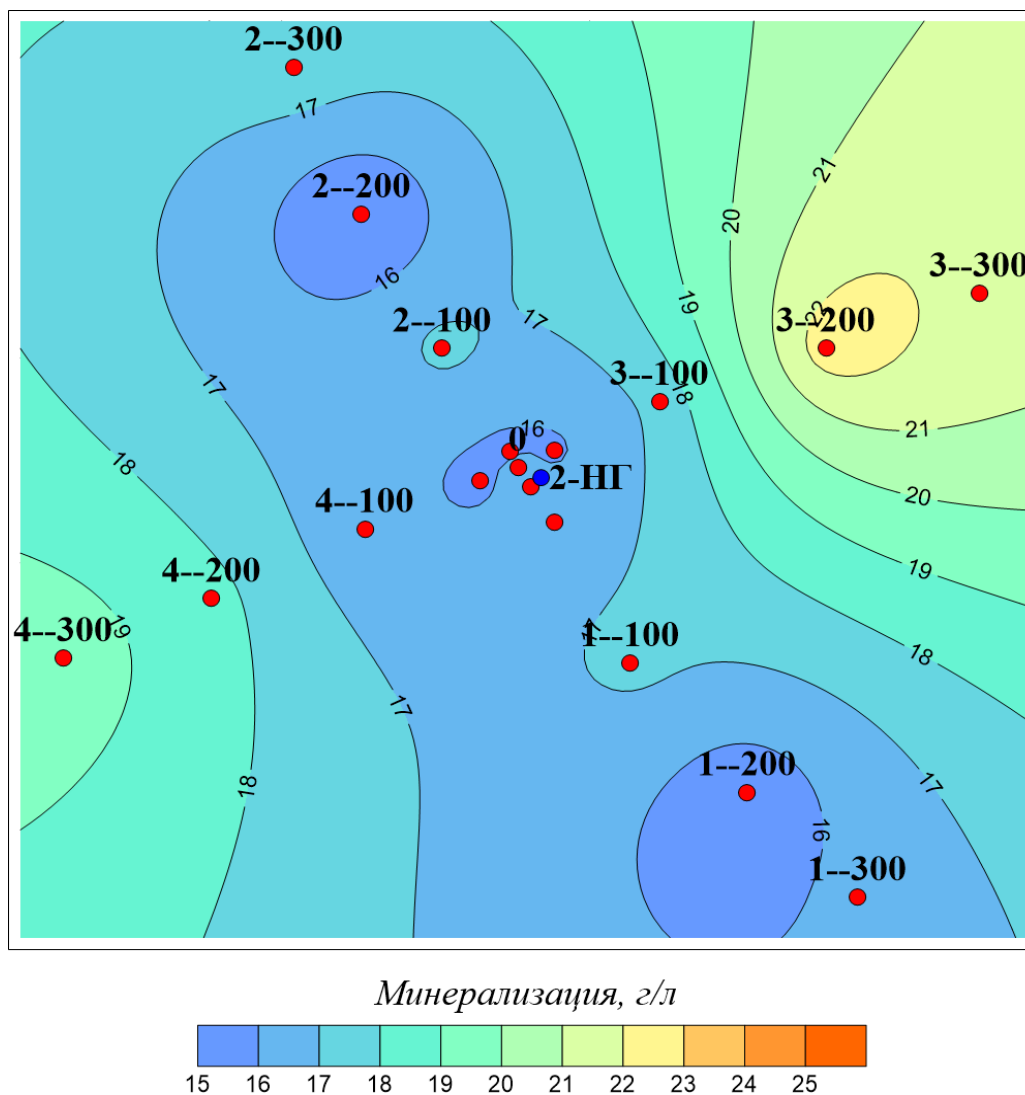


Рис. 5. Схема общей минерализации водоносного горизонта (скважина 2-НГ)

Принимая во внимание, что в указанных интервалах профиля 1-2 повышенной минерализации соответствуют пониженные значения КС и план изоом для данных разносов АВ/2 приблизительно соответствует границе раздела водоносного и опорного электрического горизонтов, то основываясь на результатах качественной и количественной интерпретации данных ВЭЗ можно предположить, что на участках пониженных значений кажущегося сопротивления (повышенная трещиноватость) повышение минерализации вызвано попаданием в основной водоносный пласт жидкости из более глубоких рассольных горизонтов.

Библиографический список:

1. IPI2Win. Руководство пользователя (Электронный ресурс) / Бобачев А. А., Модин И. П., Перваго Е. В., Шевнин В. А. М.: МГУ, геол. ф-т, каф. геофизики, 2005. 26 с. URL: [https:// docplayer.ru/25849269-Mgu-im-m-v-lomonosova-geologicheskij-fakultet-kafedra-geofiziki-win-with-ipi2win-ipi2win-s-ipi_res2-ipi_res3-rukovodstvo-polzovatelya.html](https://docplayer.ru/25849269-Mgu-im-m-v-lomonosova-geologicheskij-fakultet-kafedra-geofiziki-win-with-ipi2win-ipi2win-s-ipi_res2-ipi_res3-rukovodstvo-polzovatelya.html) (дата обращения: 21.04.2019)
2. Галин Д.Л. Интерпретация данных инженерной геофизики. М.: «Недра», 1989. 115 с.
3. Горожанцев А.В., Герасимова И.Ю., Тайницкий А.А. Результаты оценки технического состояния шламового амбара методами электротометрии // Геология и полезные ископаемые

Западного Урала: сб. ст. по материалам Всеросс. науч.-практ. конф. с междунар. участием / под общ. ред. Р.Г. Ибламинова; Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2017. С. 137–142.

4. *Инструкция* по электроразведке. Л. Недра, 1984. 534 с.

5. *Кириухин В.А.* Прикладная гидрогеохимия: Учебник (Электронный ресурс). – СПб.: Санкт-Петербургский горный ин-т, 2010. С.18. URL: <https://studfiles.net/preview/6224041/page:18> (дата обращения: 21.04.2019).

6. *Колесников В.П.* Основы интерпретации электрических зондирований. - М.: Научный мир, 2007. – 248 с.

7. *Колесников В.П., Костарев С.М.* Применение методов электрометрии для решения проблем нефтепромысловой геоэкологии // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. № 8. М.: ВНИИОЭНГ, 2002. С. 131–138.

8. *Костарев С.М., Колесников В.П., Шатова С.Н.* Использование гидрогеохимических методов и электроразведки для выявления источников загрязнения пресных подземных вод в зонах комплексного воздействия (на примере пригородной зоны г. Осы) // Сб. науч. тр. «Геология, разработка и эксплуатация нефтяных месторождений Пермского Прикамья», вып. 2. Пермь: ОАО ПермНИПИ-нефть, 1999. С. 205–216.

9. *Матвеев Б. К.* Электроразведка. Учеб. для вузов. 2-е изд. перераб. и доп. М.: Недра, 1990. 368 с.

10. Справочник геофизика. Электроразведка. Т. 1–2. М.: Недра, 1990.

11. Степанов Ю. И. Определение области засоления подземных вод по данным ВЭЗ // Стратегия и процессы освоения георесурсов : сб. науч. тр. Вып. 13. / Горн. ин-т УрО РАН. – Пермь. ГИ УрО РАН, 2015. С. 210–213.

12. *Степанов Ю.И., Катаев В.Н.* К вопросу о геофизическом мониторинге техногенных систем // Геология и полезные ископаемые Западного Урала: Материалы регион. науч.-практ. конф./ под общ. ред. Р.Г. Ибламинова; Перм. ун-т. Пермь, 2000. С. 203–205.

13. *Шимановский Л.А., Шимановская И.А.* Пресные подземные воды Пермской области. Пермь, 1973. 197 с.

Е.И. Паршаков, А.В. Кичигин
«ГИ УрО РАН», parshakov_e@list.ru

АНАЛИЗ СТАТИСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК НАБЛЮДЕННЫХ ПАРАМЕТРОВ С ПОМОЩЬЮ АППАРАТА ТЕОРИИ ОЦЕНОК ПРИ ИНТЕРПРЕТАЦИИ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭЛЕКТРОПРОФИЛИРОВАНИЯ

Интерпретация данных полевых измерений методами естественного поля и симметричного электропрофилирования основана на качественном анализе или на простейших приемах оценки глубин и размеров аномалиеобразующих тел. Это влечет неоднозначность выводов о природе явлений, вызвавших изменения наблюдаемых параметров. Повысить достоверность интерпретации можно путем расширения анализируемого признакового пространства за счет формальных признаков, в данном случае, статистических характеристик самих наблюдаемых параметров. Использование процедур безэталонной классификации позволяет разбить анализируемые совокупности на однородные, по формальным математическим критериям, классы, которые авторы пытаются соотнести с участками возможных инженерно-геологических осложнений.

Ключевые слова: электропрофилирование, естественное поле, статистические характеристики, безэталонная классификация

**ANALYSIS OF STATISTICAL CHARACTERISTICS OF THE OBSERVED
PARAMETERS BY MEANS OF THE APPARAT THEORY OF ESTIMATES
WHEN INTERPRETING THE ELECTROPROFILING RESULTS**

Interpretation of the data of field measurements by the methods of natural field and symmetrical electro-profiling is based on qualitative analysis or on the simplest methods of estimating the depths and sizes of anomalous bodies. This leads to ambiguity of conclusions about the nature of the phenomena that caused changes in the observed parameters. It is possible to increase the reliability of interpretation by expanding the analyzed feature space due to formal features. In this case, these are statistical characteristics of the observed parameters themselves. The use of the procedures of non-Etalon classification allows us to divide the analyzed populations into homogeneous classes according to formal mathematical criteria. The authors try to correlate them with areas of possible engineering-geological complications.

Key words: electrical profiling, natural field, statistical characteristics, standardless classification.

Возможность выделения и оконтуривания участков инженерно-геологических осложнений по результатам электрометрических наблюдений методами естественного поля (ЕП) и сопротивлений в модификации симметричного электропрофилирования (СЭП) способствует их широкому использованию в условиях урбанизированных территорий. Интерпретация данных полевых измерений ЕП и СЭП чаще всего основана на качественном анализе или на простейших приемах оценки глубин и размеров аномалиеобразующих тел, а это влечет неоднозначность выводов о наличии и природе явлений, вызвавших изменения наблюдаемых параметров. Всегда желательно использовать несколько дополнительных геофизических методов в интегрированной программе исследования вместо того, чтобы полагаться на единственный метод исследования. Повысить достоверность интерпретации можно путем расширения анализируемого признакового пространства за счет формальных признаков, например, статистических характеристик самих наблюдаемых параметров (Петров А.В и др., 2010).

В пределах Верхнекамского месторождения солей (ВКМС) для контроля сохранения сплошности водозащитной толщи и выявления негативных изменений состояния горного массива на потенциально опасных участках шахтных полей регулярно выполняется геолого-геофизический мониторинг, включающий электроразведочные исследования методами естественного поля (ЕП) и симметричного электропрофилирования (СЭП) на трех разносах питающей линии АВ – 100, 200 и 400 м (рис. 1).

Длина приемной линии MN и шаг по профилю для СЭП и ЕП составляли 20 метров. В 2015–2016 гг. наблюдения выполнялись ежемесячно на подработанном участке по 4 профилям.

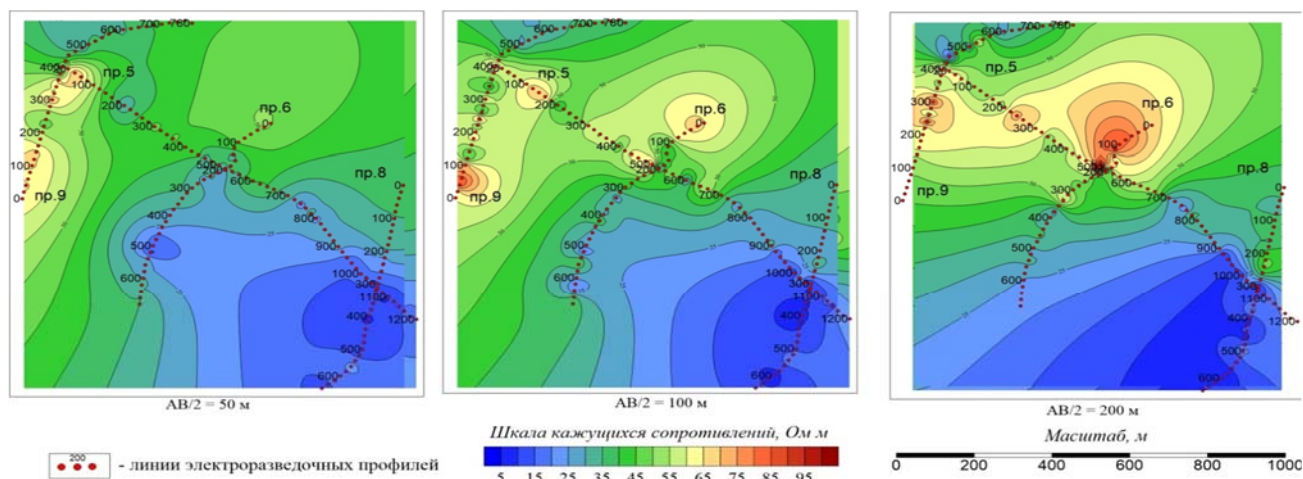


Рис. 1. Карты изолиний кажущегося сопротивления

Рис. 1. Карты изолиний кажущегося сопротивления

На картах изолиний кажущегося сопротивления, построенным по результатам электроразведочных наблюдений СЭП, видно, что существенное понижение кажущегося сопротивления в надсоляной толще фиксируется в юго-восточной части площади наблюдений, где произошло техногенное обрушение.

Помимо качественного анализа, для повышения информативности и достоверности интерпретации, были выполнены преобразования, результаты которых приводятся в данной публикации.

Выполненные исследования в пределах ВКМКС позволили определить эффективный набор процедур и последовательности их применения при обработке и интерпретации электроразведочных данных, позволяющий более достоверно проводить картирование границ или зон, обусловленных различными природно-техногенными факторами (Христенко Л. А., Степанов Ю. И., 2014; Христенко Л. А. и др., 2017; Hristenko L. etc., 2018; Khristenko L. A. etc., 2019). В пределах участка наблюдений были выполнены уже неоднократно описанные процедуры.

Для более отчетливого выделения скрытых закономерностей изменения амплитуды поля кажущегося сопротивления (КС) было выполнено быстрое вейвлет-преобразование (БВП) дискретных значений КС с помощью программы НААР_2 (Долгаль А.С., Симанов А.А., 2008). Программа реализует сжатие сигнала, представленного в виде значений амплитуд, с использованием разложения в базисе Хаара. Обработка сигнала с помощью БВП позволяет существенно сжать объем информации, отбросить его мелкие детали и выделить наиболее существенные особенности.

Чтобы выделить зоны возможных инженерно-геологических осложнений по единым критериям, целесообразно выполнять классификацию общего признакового пространства по всем четырем профилям исследования. Поэтому значения потенциала ЕП и значения КС, восстановленные после применения процедуры БВП интерполировались в узлы регулярной сети. Различными методами, реализованными в программном комплексе «КОСКАД 2D» (в скользящем окне, в одномерном и двумерном динамических окнах), и с различными размерами

окон, рассчитывались статистические характеристики значений КС и потенциала ЕП. Алгоритмы адаптивной линейной фильтрации, реализованные в комплексе, дают возможность корректно обрабатывать нестационарные по спектрально-корреляционным характеристикам геопольа.

Статистические характеристики, рассчитанные в скользящем окне 3×3 точек сети, на наш взгляд, наилучшим образом отражают особенности изменения анализируемых параметров. Они и были отобраны для многопризнакового пространства.

Статистические характеристики значений потенциала ЕП объединялись поочередно со статистиками КС, полученными при АВ 100, 200 и 400 м, т.е. были сформированы три многопризнаковых пространства. Структура их анализировалась с помощью различных методов безэталонной классификации (общего расстояния, динамических сгущений, по Петрову).

Использование процедур безэталонной классификации позволило разбить анализируемые совокупности на однородные, по формальным математическим критериям, классы, пространственно отвечающие участкам возможных инженерно-геологических осложнений, что крайне затруднительно по результатам только качественного анализа полевых наблюдений.

Метод общего расстояния позволил получить наиболее содержательные классы. Алгоритм классификации методом общего расстояния, реализованный в программном комплексе КОСКАД, является типичным примером эвристического алгоритма.

Эвристические методы классификации основаны на разбиении диапазона значений каждого признака на заданное число градаций и в большинстве своем сводятся к расчету комплексного параметра, который является линейной комбинацией соответствующего номера интервала градации по совокупности анализируемых признаков в каждой точке наблюдений. Существенным недостатком эвристических методов является то обстоятельство, что они строятся в предположении независимости отдельных признаков между собой. Однако наличие отдельных недостатков алгоритмов классификации не уменьшает их значимости в обработке геолого-геофизических наблюдений.

В прикладных задачах автоматической классификации (при отсутствии эталонных объектов) эвристические алгоритмы стали применяться одними из первых и до сих пор сохраняют большое значение благодаря наглядности полученных результатов и простоте реализации. Основная идея метода общего расстояния заключается в том, что совокупность объектов, находящихся на одинаковом расстоянии от каждого из k эталонов, образует компактную группу. На рис.2 представлены результаты выполнения процедуры классификации с данными, получаемыми ежемесячно (с май по октябрь месяц) в течение двух лет 2015–2016 гг с разносом питающих электродов АВ=100 м.

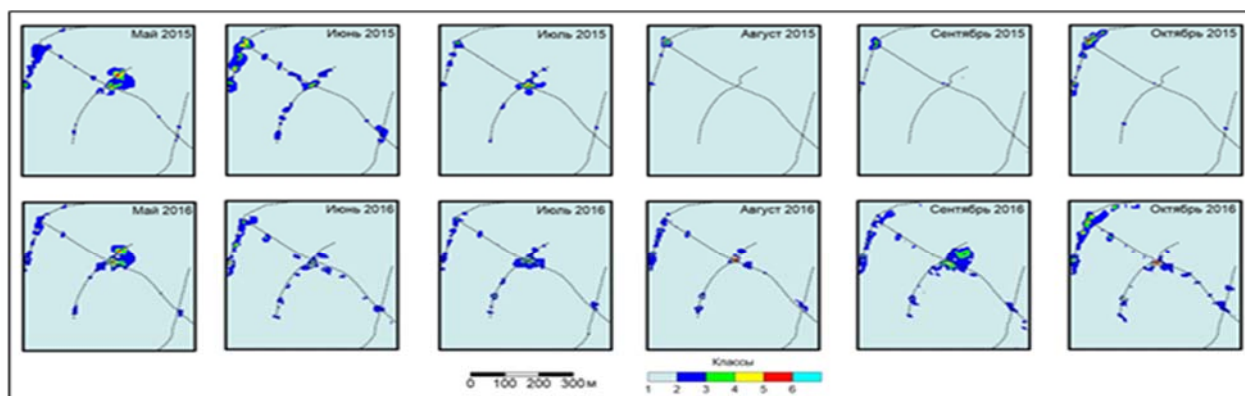


Рис. 2. Результаты классификаций методом общего расстояния по статистикам потенциалов ЕП и КС с разностью $AB/2 = 100$ м

Рис. 2. Результаты классификации методом общего расстояния по статистикам потенциалов ЕП и КС

На рисунке отмечается увеличение площадей контуров 2÷4 классов, полученных в 2015 г. по сравнению с 2016 г. Для разносов $AB=200$ и 400 м выполнялась аналогичная процедура классификации для ежемесячных наблюдений. Контуры классов, полученные на различных разносах питающей линии отражают динамику изменения с глубиной кажущегося сопротивления в пределах породного массива.

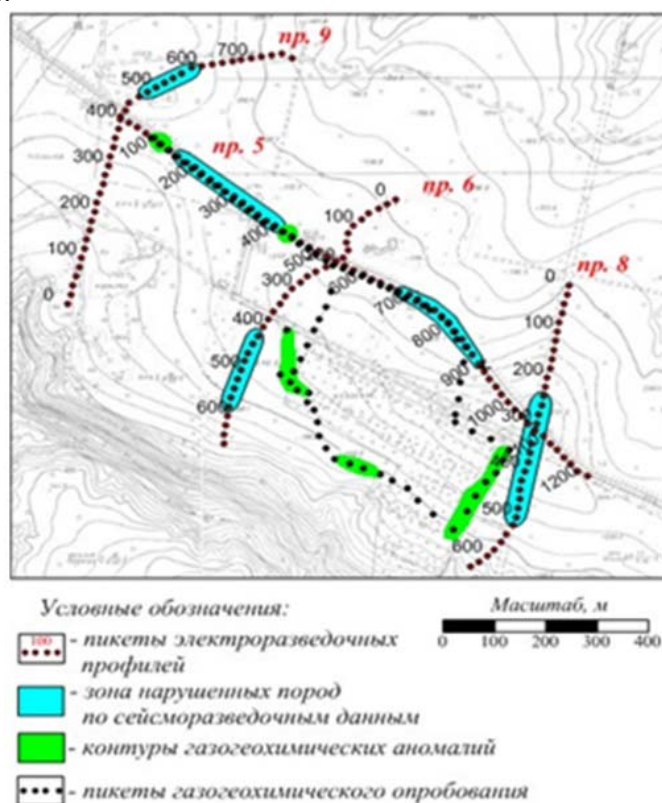


Рис. 3. Результаты комплексной интерпретации сейсмических и газогеохимических данных

Пространственное положение контуров классов сопоставлялось с картами изолиний КС, с результатами сейсмических исследований и газогеохимического опробования (рис. 3).

Газогеохимическими аномалиями сопровождаются геологические структуры, а также различные осложнения строения надсоляной части разреза (Бачурин Б.А., Борисов А.А, 2013) (зоны природно-техногенной трещиноватости), выявленные по результатам сейсмических наблюдений.

На рис. 2 видно, что контуры содержательных классов отвечают областям повышенного сопротивления, которые отражают зоны не нарушенных пород. Приведенные в таблице характеристики 1-2-го классов за 2015-2016 гг, показывают, что со временем сопротивление в пределах их контуров снижается, вероятно из-за увеличения трещиноватости и обводненности (за счет продолжающегося техногенного воздействия).

Ранее авторы использовали классификационные процедуры для выделения зон возможных инженерно-геологических осложнений, отмечаемых пониженным сопротивлением. Но на данном участке, из-за большого количества значений пониженного сопротивления, соответствующий им класс – фоновый. Локальные области, выделяемые более высокими номерами классов, характеризуются повышенными значениями КС и пространственно отвечают областям наименее трещиноватых или необводненных пород.

Таблица. Результаты классификаций многомерных данных в 2015 и 2016 гг.

№ Класс	Характеристики классов 2015 год										Число точек, %
	КС (СЭП АВ/2=50 м)					УЕП					
	Ср	Д	А	Е	У	Ср	Д	А	Е	У	
1											
май	43.97	0.58	-0.02	-1.49	0.01	1.03	3.32	-0.02	-1.44	-0.11	97.6
июнь	40.26	0.42	-0.02	-1.49	0.01	-0.47	2.72	0.00	-1.45	-0.02	97.3
июль	37.06	0.52	0.02	-1.48	0.01	2.07	2.45	0.00	-1.45	0.01	96.4
август	37.48	0.46	0.01	-1.52	0.01	0.75	2.65	0.00	-1.46	-0.06	98.2
сентябрь	37.50	0.49	0.01	-1.47	0.01	7.55	5.24	-0.01	-1.48	0.01	98.8
октябрь	37.22	0.34	0.00	-1.48	0.01	6.25	2.17	0.00	-1.44	0.08	97.2
2											
май	54.68	7.80	-0.07	-1.30	0.05	-24.00	70.54	-0.12	-1.37	0.04	2.1
июнь	52.21	6.87	0.00	-1.24	0.05	-14.44	15.61	0.02	-1.48	14.88	2
июль	42.02	6.86	0.01	-1.34	0.05	4.89	30.44	-0.03	-1.37	-0.65	3
август	52.20	9.48	0.06	-1.29	0.06	-12.36	13.93	-0.04	-1.24	-0.13	1.3
сентябрь	45.96	16.09	0.00	-1.42	0.09	1.13	24.76	-0.09	-1.13	-0.29	1.1
октябрь	41.27	5.43	0.02	-1.32	0.06	-8.80	14.26	-0.05	-1.36	-0.51	2.1

№ Класс	Характеристики классов 2016 год										Число точек, %
	КС (СЭП АВ/2=50 м)					УЕП					
	Ср	Д	А	Е	У	Ср	Д	А	Е	У	
1											
май	35.61	0.58	0.00	-1.50	0.02	0.75	3.00	-0.02	-1.44	-0.10	95.8
июнь	35.54	0.46	0.00	-1.50	0.02	-0.44	2.36	0.00	-1.45	0.04	93.7
июль	36.04	0.48	0.01	-1.49	0.02	-1.17	2.31	0.00	-1.46	-0.02	94.1
август	35.61	0.31	0.00	-1.49	0.01	0.76	1.65	0.00	-1.47	-0.06	90.1
сентябрь	34.37	0.37	0.01	-1.48	0.02	7.56	3.53	0.00	-1.49	-0.11	93
октябрь	35.77	0.41	0.00	-1.49	0.02	6.76	1.73	0.00	-1.46	0.00	92.4
2											
май	40.03	6.82	-0.09	-1.31	0.07	-8.60	42.73	-0.10	-1.35	-0.19	3.5
июнь	39.95	4.36	-0.01	-1.37	0.06	-7.03	15.93	0.01	-1.40	0.38	5.5
июль	40.89	5.33	0.03	-1.38	0.05	4.31	22.71	-0.01	-1.36	-0.66	5.4
август	37.77	2.79	-0.01	-1.31	0.05	-0.97	12.96	0.01	-1.32	-0.11	8.4
сентябрь	40.36	3.85	0.04	-1.39	0.05	1.98	31.92	-0.07	-1.27	0.08	5.9
октябрь	39.96	4.07	0.02	-1.38	0.05	-3.81	10.71	-0.02	-1.37	1.09	6.3

Аналогичная ситуация наблюдалась при использовании описанных процедур классификации для выявления возможных путей миграции рассолов в водоносных горизонтах на участках накопителей солеотходов (Паршаков, Тайницкий,

Кичигин, 2018). Чтобы оценить эффективность использования описанных преобразований следует продолжить опробовать их при решении различных задач.

Библиографический список:

1. Бачурин Б.А. Борисов А.А. Современные газогеохимические технологии контроля процессов техногенеза при освоении ресурсов Верхнекамского региона // Горный журнал. – 2013. № 6. С. 78–82.
2. Долгаль А.С., Симанов А.А. Применение кратномасштабного вейвлет-анализа при аналитических аппроксимациях геопотенциальных полей. Докл. Акад. наук. 2008. Т. 418, № 2. С. 256–261.
3. Петров А.В., Юдин Д.Б., Хоу Сюели Обработка и интерпретация геофизических данных методами вероятностно-статистического подхода с использованием компьютерной технологии «КОСКАД 3D» // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2010. № 2. Вып.16. С. 126–132
4. Паршаков Е.И., Тайницкий А.А., Кичигин А.В. Использование аппарата теории оценок при интерпретации данных вертикальных электрических зондирований // Теория и практика разведочной и промысловой геофизики: сб. науч. тр. Вып. 1 (6) / ПГНИУ. Пермь, 2018. С. 225–229.
5. Христенко Л.А., Степанов Ю.И. Электрометрические наблюдения при оценке влияния выработанного пространства недр на основание железнодорожной насыпи. // Естественные и технические науки. 2014. № 7. С. 58–62.
6. Христенко Л.А., Степанов Ю.И., Кичигин А.В., Паршаков Е.И., Тайницкий А.А., Ширяев К.Н. Совершенствование интерпретации данных мониторинговых электроразведочных наблюдений с помощью аппарата теории оценок. // Инженерная геофизика 2017: материалы 13-й науч.-практ. конф. и выставки. Кисловодск, 2017. DOI 10.3997/2214-4609.201700419. Электрон. изд. режим доступа: <http://www.earthdoc.org/publication/publicationdetails/?publication=88140>. Code 129037.
7. Hristenko L., Stepanov Yu., Kichigin A., Parshakov E., Tainitsky A. Interpretation of electro-prospecting monitoring observations with use of probabilistic-statistical characteristics. // Engineering and mining Geophysics 2018: 14th Conference & Exhibition, 23-27 april 2018. Almaty, 2018. code 137600.
8. Khristenko L. A., Stepanov Ju. I., Kichigin A. V., Parshakov E. I., Tainickiy A. A. and K. N. Shiryayev. Using of Probabilistic-Statistical Characteristics in the Interpretation of Electrical Survey Monitoring Observations // Practical and Theoretical Aspects of Geological Interpretation of Gravitational, Magnetic and Electric Fields: Proceedings of the 45th Uspensky International Geophysical Seminar, Kazan, 2019. pp. 313–320.

Е.А. Иконников В.Н. Казаков

ПГНИУ, cazakov.valentin@yandex.ru

О СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОМ ВОДОСНАБЖЕНИИ В ПЕРМСКОМ КРАЕ И ПЕРСПЕКТИВАХ ЕГО РАСШИРЕНИЯ ПРИ ДАЛЬНЕЙШЕМ РАЗВИТИИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

В данной статье рассмотрено сельскохозяйственное водоснабжение в Пермском крае и перспективы его расширения. Приведено районирование территории по возможной производительности водозаборов. Охарактеризованы гидрогеологические и гидрохимические условия выделенных районов.

Ключевые слова: водоснабжение, районирование, сельскохозяйственное производство

E.A. Ikonnikov V.N. Kazakov

Perm State University, cazakov.valentin@yandex.ru

ON AGRICULTURAL WATER SUPPLY IN THE PERM REGION AND THE PROSPECTS FOR ITS EXPANSION WITH FURTHER DEVELOPMENT OF AGRICULTURAL PRODUCTION

The article deals with agricultural water supply in the Perm region and the prospects of its expansion. The zoning of the territory according to the possible productivity of water intakes is given. Hydrogeological and hydrochemical conditions of the selected areas are characterized.

Key words: water supply, zoning, agricultural production

Площадь, охваченная сельским хозяйством, составляет около 80 % территории края. Водоснабжение сельскохозяйственных районов осуществляется за счет подземных и поверхностных вод. При этом основную роль в водоснабжении играют подземные воды, поскольку поверхностные источники часто загрязнены или имеют повышенную минерализацию (Уфимское плато и южная часть Сылвенской впадины). (Иконников, 1985)

Водоснабжение ферм, отдельных хозяйств и других мелких потребителей производится за счет одиночных скважин, которых в крае насчитывается около двух тысяч. (Шимановский, 1973) Глубина скважин колеблется от 20 до 180 м. Скважины оборудованы погружными насосами с режимом работы 2-4 часа в сутки. Более крупные сельскохозяйственные объекты, такие как Пермская и Сылвенская прицефабрики, Пермский свинокомплекс и районные центры удовлетворяют потребности в воде за счет групповых водозаборов.

Дальнейшее развитие сельскохозяйственного производства также будет базироваться на подземных водах в основном групповых водозаборов, являющихся в условиях прогрессирующего (несмотря на принимаемые меры) загрязнения поверхностных источников, поскольку подземные воды являются наиболее надежным источником водоснабжения.

Данные разведанных месторождений подземных вод для нужд сельского хозяйства показывают, что производительность групповых водозаборов (радиус «большого колодца» 200 м.) изменяется от 0.3 до 19 тыс. м³/сут., и она тесно связана со структурно-тектоническими условиями, литолого-фациальным составом водовмещающих пород, геоморфологией районов. (Иконников, 1988)

По возможной производительности водозаборов на сельскохозяйственной территории преимущественно равнинной части края выделены четыре района (Иконников, 1986, 1988) (градация районов по производительности водозаборов принята согласно рекомендациям ВСЕГИНГЕО (ВСЕГИНГЕО, 1983):

1. Район с производительностью водозаборов 10-30 тыс. м³/сут. и более;
2. Район с производительностью водозаборов 3-10 тыс. м³/сут.;
3. Район с производительностью водозаборов 1-3 тыс. м³/сут.;
4. Район с производительностью водозаборов 0.3-1 тыс. м³/сут.

Ниже приведены гидрогеологические условия выделенных районов.

Район с производительностью водозаборов 10-30 тыс.м³/сут и более расположен вдоль восточного борта Предуральского прогиба и приурочен к ассельско-артинскому (артинскому) водоносному комплексу, сложенному песчаниками, алевролитами, реже известняками и конгломератами.

Весь объем запасов пресных подземных вод формируется в верхней трещиноватой зоне мощностью 40-80 м.

Карбонатно-теригенный тип разреза, характерный для этой территории отмечается высоким средним значением водопроницаемости - 376 м²/сут. Для приречных участков водопроницаемость составляет - 462 м²/сут, на водораздельных пространствах она несколько ниже - 263 м²/сут.

Средний удельный дебит скважин для водоразделов - 2.42 л/с, в приречных зонах - 4.93 л/с (Шмагин, 1977).

Гидрохимические условия района простые, мощность зоны пресных вод 100-150 м.

Разведанное на территории района Яйвинское месторождение (для г. Александровска) с запасами подземных вод 100 тыс.м³/сут свидетельствует о высокой водообеспеченности этой территории.

Район с производительностью водозаборов 3-10 тыс.м³/сут занимает территорию Соликамской впадины и часть Пермско-Башкирского свода в пределах карстующихся карбонатных и сульфатно-карбонатных нижнепермских отложений, а также речные долины рек Камы, Сылвы, Чусовой, Косьвы и других относительно крупных рек. Основные запасы пресных подземных вод формируются в верхней трещиноватой закарстованной части разреза карбонатных пород соликамского и артинско-кунгурского возраста, мощность которой изменяется практически от 0 до 80-100 м. и более. В среднем мощность трещиноватой закарстованной зоны составляет 30-60 м.

Значения коэффициента фильтрации изменяется от 1.0 до 100-150 м/сут. и более. Суммарная проводимость верхней интенсивно обводненной части разреза от 10-50 (центральные участки междуречий) до 1500-2000 м²/сут и более (днища речных долин). Высокие значения параметров характерны только для локальных участков и зон с повышенной трещиноватостью и закарстованно-

стью верхней части разреза. Средний коэффициент водопроницаемости для соликамских пород - $133 \text{ м}^2/\text{сут.}$, кургурско-артинских - $125 \text{ м}^2/\text{сут.}$, иренских - $107 \text{ м}^2/\text{сут.}$

Величины естественного восполнения (модули естественных ресурсов 95 % обеспеченности) изменяются от 0.4-0.5 до 11.0-12.5 л/с.км², при среднем значении 2.3 л/с.км². (Иконников, 1986)

В соответствии со средним значением модуля естественных ресурсов месторождения с производительностью 10 тыс.м³/сут могут формироваться в малых речных долинах при площади водосборов более 40-50 км². За пределами речных долин, в связи с существенным уменьшением водопроницаемости и емкостных свойств карбонатных пород возможно формирование месторождений с производительностью порядка 3 тыс.м³/сут.

В зонах трещиноватости и закарстованности возможно формирование месторождений с эксплуатационными запасами до 30-50 тыс.м³/сут и более. (Александрова, 1981)

В долине р. Камы и её притоков, вследствие незначительной мощности (5-10 м.) аллювиальных отложений (пойма I в II надпойменных террас), основными продуктивными горизонтами являются дочетвертичные (нижне - и верхнепермские), за исключением небольших участков (районы Чайковского, Елово, Краснокамска, Добрянки), где аллювиальный горизонт (аллювий II и III террас).

Средний коэффициент водопроницаемости дочетвертичных пород в долинах рек составляет $152 \text{ м}^2/\text{сут.}$, мощность трещиноватой части разреза, содержащей пресные воды - 20-40 м.

Аллювиальные отложения представлены в основном песками, песчано-гравийными образованиями, галечниками с прослоями и линзами суглинков и глин. Коэффициенты фильтрации от 10-12 до 23 м/сут и более. Водоотдача 0.18-0.22.

Подстилающие терригенные отложения в целом могут рассматриваться как относительно слабопроницаемый слой. Гидрохимические условия разреза простые — аллювиальный горизонт полностью находится в зоне пресных вод.

Эксплуатационные запасы в этих условиях обеспечиваются инверсией русловой разгрузки и привлечением поверхностного стока. Примером является разведанное Оханское и Сюзьвинское месторождения с запасами 3.0 тыс.м³/сут. и 8.0 тыс.м³/сут.

Район с производительностью водозаборов 1-3 тыс.м³/сут. К этому району относится большая часть территории Пермского края, которая сложена преимущественно терригенными нижне- и верхнепермскими отложениями. На платформенной части территории распространены татарский, казанский и шешминский водоносные комплексы с преимущественно смешанным и песчанниковым типом разреза, в Предуральском прогибе - кунгурский терригенный и шешминский. Эта территория находится преимущественно в пределах обширных междуречных пространств основных дрен территории (Камы, Чусовой, Сылвы) и малых речных долин. Практически на всей территории основным ис-

точником формирования эксплуатационных запасов являются естественные ресурсы подземных вод.

В зависимости от состава пород мощность верхней трещиноватой и интенсивно обводненной зоны изменяется от 20-30 до 60-80 м. и более, при преобладающем значении 30-60 м. Водопроницаемость пород в большинстве случаев находится в пределах 35-42 м²/сут., исключение составляют небольшие участки шешминских отложений на северо-востоке края, где она возрастает до 72 м²/сут.

Повышенные значения проницаемости (68 м²/сут) имеют породы кунгурского водоносного комплекса в связи с их интенсивной трещиноватостью и кавернозностью, обусловленными карстовыми процессами.

Минерализация подземных вод верхнепермских водоносных комплексов менее 1 г/дм³. Подземные кунгурского терригенного комплекса по минерализации отличаются значительной пестротой и минерализация изменяется от 0.3 до 3 г/дм³. По составу воды гидрокарбонатные, сульфатные, хлоридные и смешанные.

В пределах рассматриваемого района разведан целый ряд месторождений с запасами от 1 тыс.м³/сут. до 3.6 тыс.м³/сут. (Уинское, Рыжевское, Кояновское, Сыренское).

Район с производительностью водозаборов 0.3-1 тыс.м³/сут приурочен к глинистому типу разреза татарского и казанского водоносных комплексов, занимает площадь в виде двух узких меридиональных полос, расположенных в центральной и крайней западной части Пермского края. Западная полоса помимо татарского водоносного комплекса включает и мезозойский комплекс, который также характеризуется большой глинистостью разреза.

Средняя водопроницаемость пород района находится в пределах 20-30 м²/сут., мощность трещиноватой зоны, содержащей пресные воды составляет 20-50 м. Производительность одиночных скважин 100-150 м³/сут.

По химическому составу подземные воды гидрокарбонатно-кальциевые, натриевые с минерализацией до 1 г/дм³.

На территории района возможны участки, где верхняя часть разреза полностью сложена глинистыми породами. В этом случае для организации сельскохозяйственного водоснабжения рекомендуется бурение одиночных скважин, производительность которых не будет превышать 50-100 м³/сут.

На территории рассматриваемого района разведано одно месторождение (Масляновское) с запасами 0.39 тыс.м³/сут.

Выполненные исследования могут быть использованы при решении вопросов, связанных с организацией сельскохозяйственного водоснабжения и его расширении за счет подземных вод при дальнейшем развитии сельскохозяйственного производства в Пермском крае.

Библиографический список:

1. Александрова О.В., Всеволожская М.А. и др. Отчет по составлению карты районирования Пермской области по условиям формирования эксплуатационных запасов подземных вод м-ба 1:1500000 за 1979-1981 г.г. Москва, 1981
2. ВСЕГИНГЕО, Методическое письмо №2. М., 1983

3. *Иконников Е.А., Шашмурина Л.В., Мелехина Н.Н.* Отчет по составлению серии гидрогеологических карт масштаба 1:1500000 по территории Европейской части СССР/Предуралья в пределах Пермской и Свердловской областей за 1983-1985 г.г. Пермь, 1985. 308 с.
4. *Иконников Е.А.* Сельскохозяйственное водоснабжение Пермской области и перспективы его расширения за счет подземных вод// Вопросы оптимизации использования подземных вод Урала: Тезисы докладов, ч. II. Свердловск, УНЦ АН СССР, 1986. С. 42-43
5. *Иконников Е.А., Шашмурина Л.В., Пономарев В.М., Мелехина Н.И.* Отчет по составлению карт гидрогеологического районирования по условиям сельскохозяйственного водоснабжения и орошения земель подземными водами (Пермская область) за период 1983 г. Пермь, 1988. 75 с.
6. *Подземные воды СССР. Обзор подземных вод Пермской области. Буровые на воду скважины (1966-1975).* Пермь, 1976
7. *Шимановский Л.А., Шимановская И.А.* Пресные подземные воды Пермской области. Пермь, 1973. 198 с.
8. *Шмагин Б.А. и др.* Оценка естественных ресурсов пресных подземных вод Пермского приуралья. Отчет Пермской гидрогеологической партии НИСа геологического факультета МГУ. Москва, 1977

И.М. Тюрина, Е.А. Ерофеев
ПГНИУ, erofeev-ea@yandex.ru

ПАЛЕОГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ КАРБОНАТНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ ГЕЖСКОГО НЕФТЯНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Аннотация. В работе рассмотрены палеогидрогеологические условия формирования карбонатных коллекторов палеозойского чехла Пермского края на примере Гежского нефтяного месторождения.

Ключевые слова: гидрогеологический цикл, элизионные, седиментагенные воды, нефтегазоносные комплексы, месторождение

I.M. Tiurina, E.A. Erofeev
Perm State University, erofeev-ea@yandex.ru

PALEOHYDROGEOLOGICAL CONDITIONS OF FORMATION OF CARBONATE COLLECTORS OF THE CZECH OIL FIELD

Annotation. In the work the paleohydrogeological conditions of formation of carbonate reservoirs of Paleozoic cover of Perm Krai on the example of the Geezsky oil field Are considered.

Key words: hydrogeological cycle, Elysium, sedimentagennye of water, oil-and-gas complexes, Deposit

История геологического развития Пермского края характеризуется неоднократно тектоническим поднятиями и погружениями, чередующимися регрессиями и трансгрессиями моря, которые привели к накоплению и формированию мощных осадочных карбонатных толщ.

Одновременно с накоплением осадков происходило формирование гидродинамических водонапорных систем (водоносных комплексов), эволюция которых подчиняется цикличности, заключающейся в чередовании элизионных (связанных с погружением и трансгрессией) и инфильтрационных (связанных с поднятием, регрессией и началом инфильтрации) этапов гидрогеологических циклов (Кирюхин, 2005; Смирнов, 1991).

Нефтеобразование и нефтегазонакопление в свою очередь связаны с седиментогенными водами, элизионными этапами гидрогеологического развития и элизионными геогидродинамическими водонапорными системами. Именно эти воды, гидрогеологические этапы и водонапорные системы являются нефтегазосозидающими (Карцев, 1972).

В геологическом разрезе палеозойского осадочного чехла Пермского края промышленные залежи УВС выявлены в 7 основных нефтегазоносных комплексах (НГК): терригенном девонском, карбонатном верхнедевонко-турнейском, терригенном нижне-средневизейском, карбонатном верхневизейско-башкирском, терригенно-карбонатном верейском, карбонатных каширско-гжельском и нижнепермском. К карбонатным коллекторам приурочено 41,5 % начальных суммарных ресурсов нефти и 49,5 % растворенного газа (Лядова и др., 2010; Гидрогеология, 1967).

Значительная роль в формировании емкости карбонатных пород (обладающих благоприятными коллекторскими свойствами) принадлежит карстовым процессам, происходящим во время перерывов в осадконакоплении. Раскроем на примере Гежского нефтяного месторождения, палеогидрогеологические условия формирования карбонатных коллекторов.

Гежское месторождение, расположено в Красновишерском районе Пермского края.

В тектоническом отношении приурочено к одноименной структуре, расположенной в северо-восточной части Соликамской депрессии. Гежское поднятие по происхождению относится к типу тектоно-седиментационных структур, образовавшихся за счет развития карбонатных рифов позднефранского и более молодого возраста. По кровле турнейского яруса гежская структура предоставляет собой ассиметричную складку размером 7,7×8,5 км, ее структурный план по кровле башкирского яруса практически не меняется, лишь уменьшается ее размер до 6×4,6 км (Кашников и др., 2014).

Геологический разрез Гежского месторождения представлен отложениями вендского комплекса, девонской, каменноугольной, пермской и четвертичной систем (Рис. 1). Геологический разрез изучен до глубины 2594 метра.

Месторождение открыто в 1971 г., промышленная эксплуатация начата с 1983 г. Промышленные запасы нефти выявлены в карбонатных отложениях верхнего девона и турнейского яруса (пласты D₃f, D₃fm-C₁t), окского надгоризонтавизейского яруса (пласт C₁ok) и башкирского яруса (пласт C₂b) (Рис. 1).

[illegible]

Рис. 1. Слева - Схематичный геологический разрез Гежского нефтяного месторождения (Дополнение к технологической схема, 2015), Справа - Палеогидрогеологический график Гежского месторождения

В настоящее время из трёх объектов разрабатываются только два: D₃f-D₃fm-C₁t и C₂b. Объект C₁ok не разрабатывается.

Гежское месторождение расположено в пределах Предуральского сложного бассейна пластовых вод (7).

Подземные воды палеозойских отложений относятся к гидродинамической зоне активного водообмена и зоне затрудненного водообмена, разделенных водонепроницаемой глинисто-галогеиной толщей кунгурского яруса мощностью до 350 м.

Зона активного водо-обмена содержит пресные гидрокарбонатно-кальциевые воды, зона затрудненного водообмена - хлоридно-кальциевые рассолы с минерализацией до 250 г/дм³.

На территории Пермского края на основе анализа палеогеографических, палеотектонических и литолого-фациальных условий выделено 8 гидрогеологических циклов (1). Формирование карбонатных коллекторов месторождения происходило в течение инфильтрационных этапов гидрогеологических циклов в позднедевонскую, ранне- и средне-каменноугольную эпохи (Рис. 1).

Во франкский век началась трансгрессия моря и территория Пермского края испытывала устойчивое погружение. К концу века глубина моря в прогибах достигла 200-400 м и в районах мелководного палеошельфа происходило активное рифообразование (Лядова и др., 2010).

Элизионный этап был длителен и завершился регрессией моря в начале визейского века. В этот период для территории края установились прибрежно-морские и прибрежно-континентальные условия осадкообразования. Накапливались карбонатные отложения значительной мощности (до 500 м) с прослоями сульфатов, что свидетельствует об изменении условий осадконакопления в результате колебательных тектонических движений.

Отрицательные подвижки способствовали изменению гидродинамической обстановки. Создавались благоприятные условия для миграции органического вещества в ситуации гидрогеологической закрытости недр (Карцев, 1959).

Северо-западная часть Пермского края представляла собой эрозионно-денудационную равнину. Сток подземных вод был направлен преимущественно в сторону Уральской геосинклинали. Важными элементами равнины были речные долины выработанные в фаменско-турнейских отложениях. Глубины эрозионных врезом достигали 30-60 м и более (Лядова и др., 2010).

Девонские и турнейские карбонатные отложения мощностью до 300 м интенсивно закарстовывались, о чем свидетельствуют катастрофические условия поглощения бурового раствора и провалы бурового инструмента.

Палеогидрогеологические условия в это время были благоприятны для формирования высокочемких карбонатных коллекторов.

Карстовые процессы происходили интенсивнее, чем в настоящее время. Этому способствовал влажный тропический климат со среднегодовой температурой +25-30 °С и среднегодовое количество осадков 800-1200 мм (Смирнов, 1991; Сеницын, 1967).

Палеозой, особенно каменноугольный период, характеризовался высоким содержанием углекислоты в воздухе, которая, придавая природным водам кислую реакцию, повышала их агрессивность.

Значительные изменения мощности карбонатных пород (51-98 м) на небольшой площади свидетельствуют о высокой расчлененности карстового рельефа, которая обуславливает сокращение пути движения агрессивных пресных вод от области питания к области разгрузки. Наличие палеокарстовых котловин в сводовых частях поднятия, размеры которых соизмеримых современными полями, свидетельствует о длительности процессов закарстовования. Таким образом турнейская толща известняков во время континентального перерыва находилась в зоне активного водообмена.

В радаевское время в целом прослеживается устойчивая направленность изменения обстановок седиментации от трансгрессивных к регрессивным. Тульское время началось с регрессии моря, которая в позднем визее сменилась трансгрессией, продолжавшейся и в серпуховской век. В это время накапливались значительные карбонатные толщи, достигающие мощности до 400 м. В кратковременный инфильтрационный этап серпуховского гидрогеологического цикла отложения были закарстованы на глубину 100-150 м. Ниже этого уровня в карбонатных осадках, вероятно, сохранились седиментационные воды серпуховского моря. Эти предположения подтверждаются результатами определения возраста подземных вод и карбонатных пород.

В начале башкирского века произошло новое опускание территории. Тектонический режим в башкирский век отличался значительной изменчивостью. В конце века отмечено поднятие территории. В инфильтрационный этап башкирского гидрогеологического цикла карбонатные отложения интенсивно закарстовывались, формировались высокочемские коллекторы с максимальной пористостью 12,8 %, плотность стилолитов – до 129/м. Инфильтрационный этап был кратковременным и в московский век сменился элизионным.

В позднекаменноугольную, раннепермскую эпохи происходило дальнейшее опускание территории. В начале пермского периода на гидрогеодинамические и гидрогеохимические условия существенное влияние оказали тектонические движения, связанные с формированием Урала. Подземные воды в условиях высокой тектонической активности территории были насыщены газами, способствовавшими интенсивному выносу из пород микронефти.

Таким образом формирование карбонатных коллекторов Гежского нефтяного месторождения происходило в течение инфильтрационных этапов гидрогеологических циклов (Рис. 1).

Накопление углеводородов происходило на элизионных этапах гидрогеологических циклов, продолжительность которых была значительно дольше, что явилось благоприятным фактором для образования и сохранения нефтяных залежей Гежского месторождения.

Библиографический список:

1. *Гидрогеология* Волго-Уральской нефтегазоносной области. М.: Недра 1967. 210 с.
2. *Карцев А.А., Вагин С.Б., Басков Е.А.* Палеогидрогеология М.: Недра, 1969. 151с.
3. *Карцев А.А.* Гидрогеология нефтяных и газовых месторождений. М.: Недра, 1972. 280 с.
4. *Кашиников О.Ю., Ханов А.В., Левченко И.Ю и др.* Дополнение к проекту разработки Гежского нефтяного месторождения. Москва, 2014.
5. *Кирюхин В.А.* Региональная гидрогеология СПб, 2005. 341 с.

6. *Лядова Н.А., Яковлев Ю.А., Распопов А.В.* Геология и разработка нефтяных месторождений Пермского края. Москва, 2010. 335 с.
7. *Минерально-Сырьевые ресурсы Пермского края.* Пермь 2006. 464 с.
8. *Синицын В.М.* Введению в палеоклиматологию. М.: Недра, 1967. 125 с.
9. *Смирнов С.И.* Историческая гидрогеология. М.:Недра, 1991.208 с.

¹З.В. Кивилева, ²П.И. Бажутин, ³С.В. Щербаков
ПГНИУ, ¹zoya.kivileva@mail.ru, ²pavel.bazhutin.96@mail.ru,
³sherbakov.lpmg@mail.ru

ВЛИЯНИЕ МОЩНОСТИ ПЕРЕКРЫВАЮЩЕЙ ТОЛЩИ НА ИНТЕНСИВНОСТЬ РАЗВИТИЯ КАРСТА (НА ПРИМЕРЕ МОСАЛЬКОГО РАЙОНА КАЛУЖСКОЙ ОБЛАСТИ)

Карст является опасным природным процессом из-за внезапности проявления в виде провалов и оседаний на поверхности земли, приводящим к деформациям зданий и сооружений, и, соответственно, к экономическому и социальному ущербу. Карстовый процесс и формы его проявления изучаются отечественными и зарубежными исследователями на протяжении длительного времени. Изучение карста ведется с позиции оценки карстовой опасности, факторов его активизации и условий развития. В данной работе рассмотрено влияние мощности перекрывающих отложений на интенсивность развития карста на территории Мосальского района Калужской области.

Ключевые слова: карст, карстовая опасность, Калужская область

¹Z.V. Kivileva, ²P.I. Bazhutin, ³S.V. Shcherbakov
Perm State University, ¹zoya.kivileva@mail.ru,
²pavel.bazhutin.96@mail.ru, ³sherbakov.lpmg@mail.ru

INFLUENCE OF THE THICKNESS OF COVERING SOIL ON THE INTENSITY OF KARST DEVELOPMENT (ON THE EXAMPLE OF THE MOSALSK AREA OF THE KALUGA REGION)

Karst is the natural hazard because of suddenness of sinkholes and subsidence occurrence on the Earth surface leading to deformations of buildings and constructions and, respectively, to economic and social damage. Karst process and karst forms are studied by domestic and foreign researchers throughout the progressive time. Study of karst is conducted from the position of karst hazard assessment, research of main conditions of factors of its development. In this paper has been considered influence of thickness of the covering soil on intensity of development of karst process within the territory of Mosalsk area of the Kaluga region.

Keywords: karst, karst hazard, Kaluga region

Термин карст является утвержденным в научной литературе всех стран мира, в том числе и отечественной. Определение понятия – карст дано различными исследователями, но до сих пор не предложено универсальное определение, учитывающее все аспекты данного процесса. В данной статье мы остановимся на определении, предложенном Г.А. Максимовичем: «Карст это процесс хими-

ческого и от части механического воздействия подземных и поверхностных внеусловых вод на растворимые проницаемые горные породы, в результате чего возникают поверхностные и подземные скульптурные, а при выпадении из раствора, обрушении – и аккумулятивные формы» (Горбунова, 1985).

Для развития карстового процесса в массиве горных пород необходимо выполнение следующих четырех условий (Горбунова и др., 1992), при отсутствии одного из них возможность развития карста исключается:

- наличие в геологическом строении растворимых горных пород (известняков, доломитов, мела, мрамора, гипса и ангидрита, каменной и других солей);
- агрессивность подземных вод по отношению к карстующимся породам;
- движение подземных вод по массиву горных пород;
- трещиноватость, пористость и кавернозность пород, обеспечивающие движение вод в карстующемся массиве.

Рассмотрим подробнее влияние каждого условия. В развитии карста и его направленности имеются определенные закономерности, в соответствии с главными гидродинамическими зонами. Согласно исследованиям Д.С. Соколова (1962), степень закарстованности массива уменьшается с глубиной вследствие снижения трещинной водопроницаемости, скоростей движения и растворяющей способности подземных вод.

В зоне аэрации, развитие карста связано с сезонным нисходящим движением вод за счет проникновения по трещинам и порам пресных поверхностных вод. В зонах переменного насыщения наибольшая закарстованность проявляется на участках примыкающих к долинам рек и под их руслом, а также в пределах бортов палеодолин, где наблюдается повышенная трещиноватость растворимых пород и отмечается наибольшая скорость движения подземных вод.

Также следует сказать, что на растворяющую способность поверхностных и подземных вод влияет достаточное количество растворенного CO_2 (углекислый газ) в воде. В зоне замедленного водообмена процесс развития карста затухает вследствие насыщения воды различными химическими элементами и снижения скорости ее движения.

Необходимо отметить, что главенствующую роль среди условий развития карста занимает геологическое строение. Активность развития карста и его проявления, выраженные в деформациях на поверхности земли, находятся в прямой зависимости от глубины залегания карстующихся пород. С увеличением мощности перекрывающей толщи затрудняется доступ пресных атмосферных осадков, агрессивных к растворимым породам, и как следствие снижается вероятность формирования отрицательных (карстовых) форм рельефа на дневной поверхности.

В качестве доказательства рассмотрим зависимость частоты встречаемости карстовых форм на поверхности земли и мощности перекрывающей толщи на территории Мосальского района Калужской области (рисунки 1). В пределах рассматриваемого района развит карбонатный тип карста, основными карстующимися породами являются известняки турнейского, визейского, серпуховского ярусов нижнего карбона (C1t-s). Характерной чертой развития карста в районе работ является переслаивание известняков с глинами и, реже, мергеля-

ми. Перекрывающая толща грунтов, залегающих над известняками, сложена отложениями четвертичного и неогенового возрастов. Среди них преобладают флювиогляциальные пески и супеси, моренные суглинки московского оледенения, аллювиально-делювиальные и покровные песчано-суглинистые отложения.

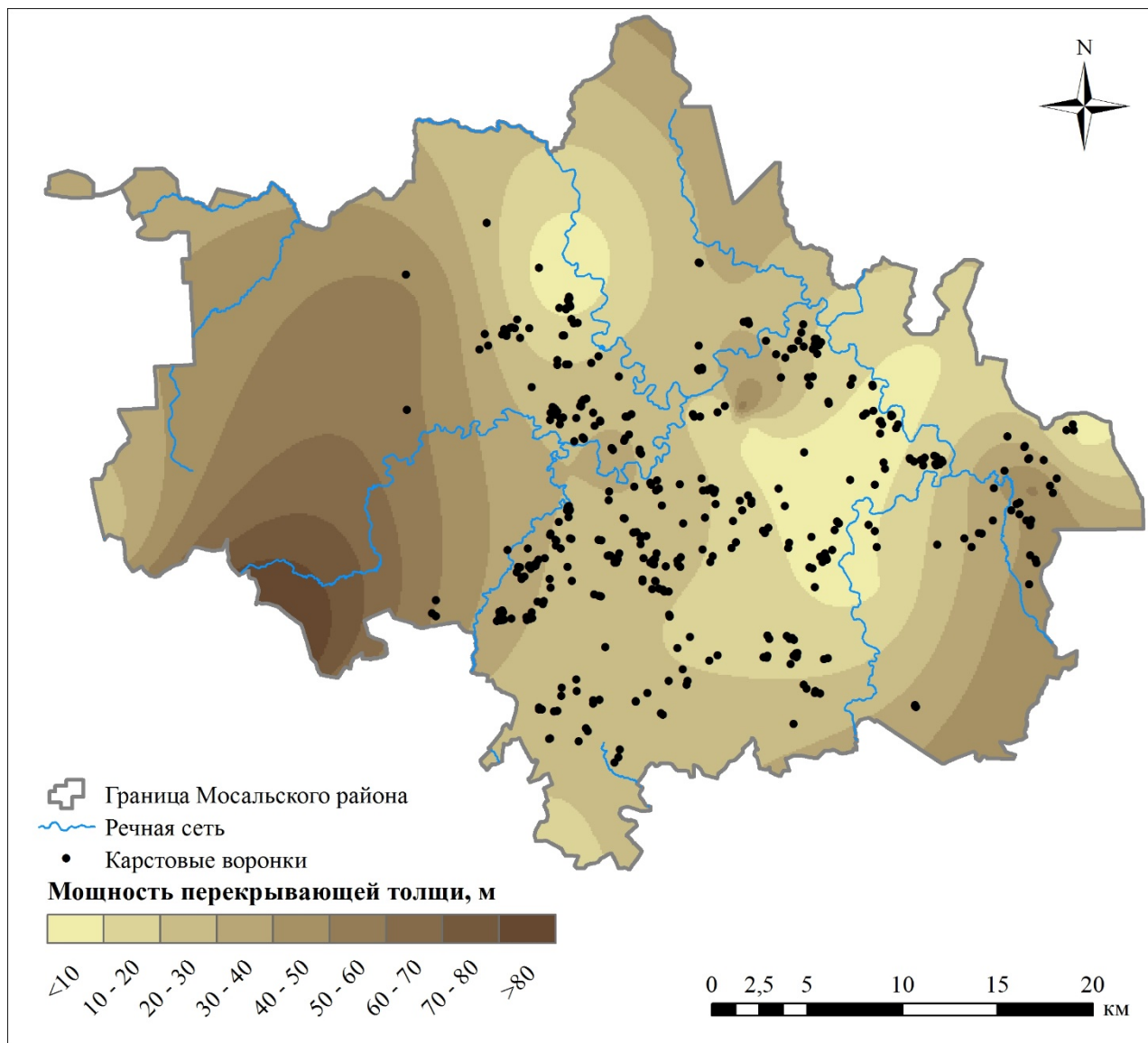


Рис. 1. Мощность перекрывающей толщи (N-Q) и поверхностные карстопроявления на территории Мосальского района

В процессе анализа первоочередно были выделены поверхностные отрицательные формы рельефа путем дешифрирования аэро-космоснимков, а также посредством анализа топографических планов и карт развития экзогенных процессов на территории исследования. Стоит отметить, что в процессе дешифрирования космоснимков фиксировались лишь те карстовые формы, которые находятся на открытой, незалесенной местности. Всего на территории Мосальского района, площадью 1310 км², выделено 424 карстовые формы, представленные воронками.

Далее была построена цифровая модель мощности перекрывающей толщи карстующихся отложений в программе ESRI ArcGIS. Основой для построения растровой модели послужили геологические разрезы 181 скважин, полученные по фондовым материалам.

На построенную модель были наложены выделенные ранее карстовые формы, каждой из которой присваивалось значение мощности в точке ее локализации. Затем строился график зависимости частоты встречаемости карстовых форм в равных интервалах значений мощности перекрывающей толщи (рисунок 2).

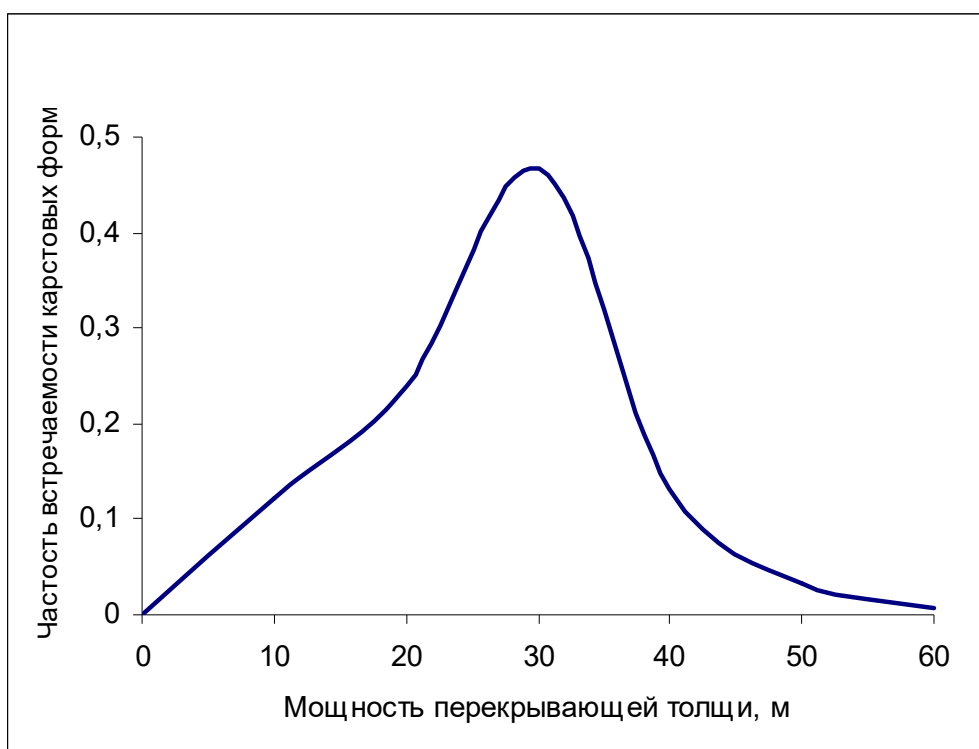


Рис.2. Частоты встречаемости карстовых форм в равных интервалах значений мощности перекрывающей толщи

На графике можно увидеть, что большая часть воронок тяготеет к интервалу от 15 до 40 м. При этом, начиная с глубин залегания кровли карстующихся известняков 50 метров и более (западная часть района, рисунок 1) карстовые формы практически не встречаются.

Полученные данные хорошо коррелируются с исследованиями Е.А. Ерофеева и В.Н. Катаева (2010). Как заключают авторы выше отмеченной работы, с увеличением мощности перекрывающих песчаных отложений на территории г. Дзержинска, вероятность проявления карста уменьшается. При достижении мощности равной 60 м вероятность образования карстовых деформаций на поверхности земли полностью исключается.

По результатам исследований можно с уверенностью сказать, что глубина залегания растворимых горных пород оказывает непосредственное влияние на интенсивность развития карстового процесса и как следствие форм его проявления на дневной поверхности. Отмечается прямая зависимость – с увеличени-

ем глубины залегания карстующейся толщи уменьшается интенсивность развития карста.

Библиографический список:

1. Горбунова К.А.. Карстоведение, вопросы типологии и морфологии карста // Учебное пособие по спецкурсу // Пермь, 1985. С. 8.
2. Горбунова К.А., В.Н. Андрейчук, В.П. Костарев, Н.Г. Максимович. Карст и пещеры Пермской области // Издательство Пермского университета, 1992. С. 12.
3. Ерофеев Е.А., Катаев В.Н. Применение вероятностно-статистических методов оценки карстовой опасности в условиях техногенного воздействия на закарстованные территории // Инженерная геология, № 4, 2010. С. 34-46.
4. Соколов Д.С. Основные условия развития карста. М., Госгеолтехиздат, 1962.
5. Влияние геологического строения территории на распределение карстовых форм (на примере территории г. кунгура) / Катаев В.Н., Щербаков С.В., Золотарев Д.Р., Лихая О.М., Ковалева Т.Г. // Вестник Пермского университета. Геология. 2009. № 11. С. 77-93.

С.В. Щербаков, М.К. Кашин

ПГНИУ, sherbakov.lpmg@mail.ru, maksman97@gmail.com

ВЗАИМОСВЯЗЬ МЕЖДУ РАПРОСТРАНЕНИЕМ КАРСТОВЫХ ФОРМ И ГЛУБИНОЙ УСТАНОВЛЕНИЯ ГРУНТОВЫХ И ТРЕЩИННО- ПЛАСТОВЫХ ВОД НА ТЕРРИТОРИИ КАЛУЖСКОЙ ОБЛАСТИ

В данной работе рассмотрена взаимосвязь между распространением поверхностных карстовых форм и глубиной установления грунтовых и трещинно-пластовых вод на территории Калужской области. В статье отмечены особенности геологического строения области, оказывающего влияние на гидрогеологические условия и развитие карстовых форм. Анализ выполнен с применением одномерного статистического аппарата через построение графиков частоты встречаемости.

Ключевые слова: карст, гидрогеологические условия

S.V. Shcherbakov, M.K. Kashin

Perm State University, sherbakov.lpmg@mail.ru

THE RELATIONS BETWEEN KARST FORMS DEVELOPMENT AND LEVELS OF GROUND AND FRACTURED-LAYER WATER WITHIN THE TERRITORY OF KALUGA REGION

The relationship between the distribution of surface karst forms and the depth of groundwater and fractured reservoir waters in the Kaluga Region is shown in this research. In article noted features of geological structure of the area and its influence on the hydrogeological conditions and development of karst forms. Analysis performed with using of one-dimensional statistic through plotting of graphs of frequency of development of karst forms within the territories with different groundwater and fractured water levels.

Key words: karst, hydrogeological conditions

В данной работе приведены результаты анализа по выявлению взаимосвязи между локализацией поверхностных карстовых форм и глубинами установления уровней грунтовых и трещинно-пластовых подземных вод в пределах территории Калужской области.

Одно из ключевых условий развития карста сводится к наличию движущейся воды, т.е. относится к гидрогеологической составляющей строения карстового массива. При этом годовой ход уровней подземных вод является одним из определяющих факторов гидрогеологических условий (Дублянская, Дублянский, 1992, 1998; Дублянский, Дублянская, 2004; Щербаков, Катаев, 2011; Ковалёва, 2017).

Совершенно очевидно, что рассмотрение гидрогеологических условий не имеет смысла в отрыве от геологического строения района, которое, несмотря на внушительную площадь исследуемой территории, в условиях платформенной структуры не отличается особым разнообразием.

С поверхности почти на всей территории Калужской области залегает слой рыхлых четвертичных отложений (Q) различного генезиса и состава. Под слоем четвертичных отложений встречаются слои терригенных неогеновых отложений (N), реже встречается карбонатно-терригенная толща меловых отложений (K). Преимущественно глинистая терригенная толща, приуроченная к юрским отложениям (J), вскрывается под меловыми, реже под четвертичными отложениями. Развитие неогеновых, меловых и юрских отложений по площади и в разрезе носит спорадический характер, их мощность изменяется в широких пределах в зависимости от конкретного участка. Карстующаяся толща представлена известняками турнейского, визейского, серпуховского ярусов нижнего карбона (C1t-s) и, реже, башкирским и московским ярусами среднего карбона (C2b-m). Намного реже карстованию подвержены карбонатные отложения (преимущественно известняки) франского и фаменского ярусов верхнего девона (D3f-fm), развитые на небольшом по площади участке в юго-восточной части области.

Всего на территории Калужской области до глубины 100 метров выделено 13 типов геологического строения (рисунок 1). При этом более 90 % площади области приходится на 2-5 и 8 типы разреза, из которых 5 тип – самый распространенный, на него приходится 55 % площади Калужской области. В целом мощность толщи дисперсных отложений, перекрывающих карстующиеся известняки, не превышает 30-40 м. Участки со значительной мощностью перекрывающих отложений выделяются только в западной и южной частях области.

На территории Калужской области водоносные горизонты приурочены к отложениям платформенного чехла различного возраста: от приповерхностных четвертичных отложений до отложений венда достигающих глубины 1,5 км. Наиболее часто встречаемыми являются водоносные горизонты грунтовых вод, приуроченные к четвертичным и неогеновым грунтам различного генезиса, а также трещинно-пластовые воды каменноугольных, реже девонских, отложений.

Отмеченные выше водоносные горизонты грунтовых и трещинно-пластовых вод на территории области входят в зону активного обмена (Ковалёва, 2017; Шилова, Ковалёва, 2016). Для Калужской области характерны благоприятные условия для инфильтрационного питания подземных водоносных горизонтов. Разгрузка водоносных горизонтов осуществляется в современные речные долины, а также палеодолины. Места разгрузки водоносных горизонтов, как правило, сложены песками.

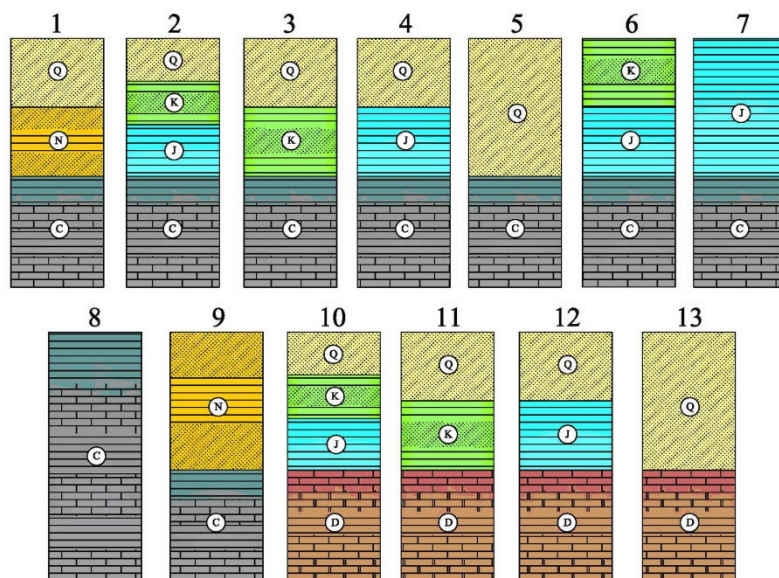


Рис. 1. Типизация геологического строения на территории Калужской области (пояснение см. в тексте)

Как известно, карстовые процессы наиболее активно протекают в верхней зоне активного водообмена. Известно, что мощность зоны водонасыщения песчаных и супесчаных отложений перекрывающей толщи, в пределах которой возможно появление зоны ослабления с последующим заложением вторичной полости-обрушения, определяется положением уровня подземных вод. Очевидно, чем выше положение уровня грунтовых вод при необходимом и достаточном наборе условий для развития карстового процесса, тем ближе к поверхности возможно формирование вторичной полости.

Уровень трещинно-пластовых вод в районе работ, наоборот, оказывает диаметрально противоположное воздействие. Высокое его положение, на 10-15 м и более превышающее отметку глубины кровли карстующихся пород, в совокупности с наличием водоупорного глинистого или скального прослоя в основании покровной толщи, в значительной степени замедляет активность развития карста. Понижение уровня трещинно-пластовых вод ниже отметки кровли карстующейся толщи может оказывать двойственное влияние. С одной стороны за счет снижения гидростатического давления на сводовые части полостей может активизироваться их обрушение, с другой же – за счет отсутствия растворителя, при условии наличия экранирующих водоупорных прослоев между карстующимися породами и грунтами покровной толщей, провальный процесс может существенно замедлиться, вплоть до полной консервации.

В целом, известна общая закономерность, согласно которой наибольшая ак-

тивизация провального процесса наблюдается при такой гидрогеологической обстановке, когда средний уровень установления трещинно-пластовых вод значительно ниже среднего уровня установления грунтовых вод.

Анализ площадной изменчивости уровней подземных вод на территории Калужской области режима выполнен по среднегодовым глубинам установления, определенным в различных колодцах, скважинах и прочих выходах подземных вод (рисунки 2, 3). Среднегодовая уровенная поверхность подземных вод используется для исследования вынужденно, из-за целого ряда причин. Основные причины данного решения: количественная ограниченность совокупности данных о положении подземных вод в периоды летней и зимней межени, весенне-осенних половодий и паводков, а также слабая сеть площадной изученности гидрогеологических условий. Наиболее глубокие отметки установления уровней грунтовых и трещинно-пластовых вод зафиксированы на территории Быбынинского, Малоярославецкого, Перемышльского и Мосальского административных районов. В выше перечисленных районах данные водоносные горизонты эксплуатируются наиболее активно.

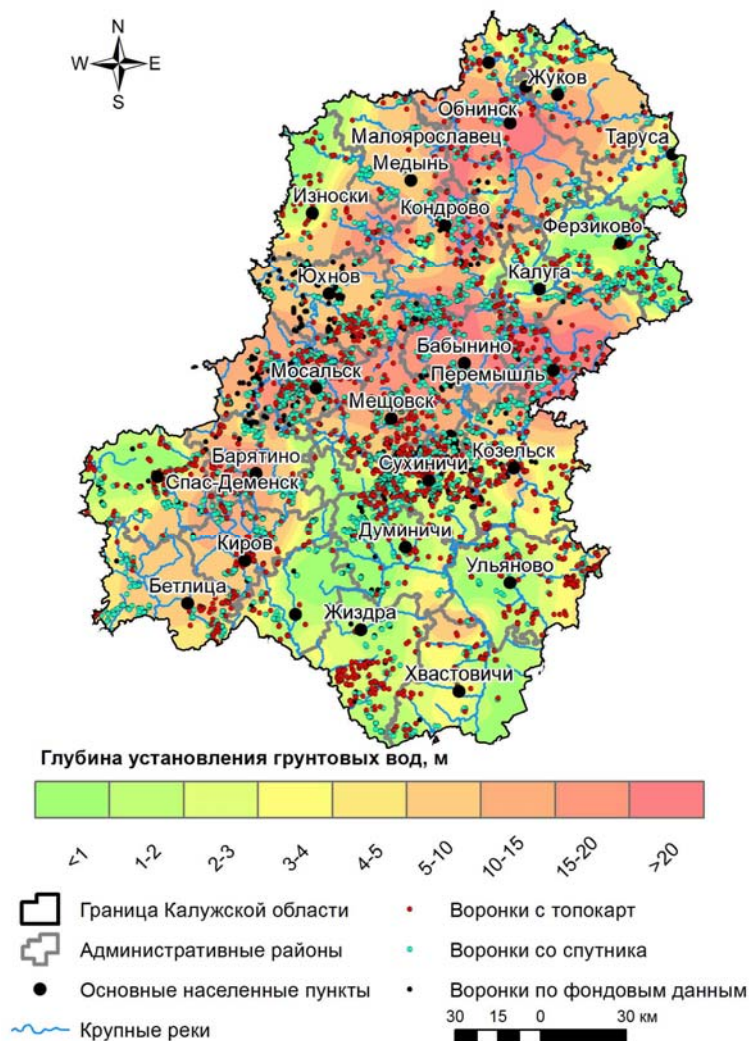


Рис. 2. Карта глубины установления грунтовых вод, совмещенная с карстовыми формами, развитыми на территории Калужской области

С целью оценки влияния положения уровней подземных вод на активизацию карстового процесса применен ранее разработанный и апробированный методический подход, который сводится к картографическому анализу и графо-аналитическому анализу распределений (Щербаков, 2012). В качестве индикаторного показателя карстовой активности выступают поверхностные карстовые формы, среди которых картированию и анализу подверглись карстовые воронки, полученные из 3-х различных источников: с топографических планов и карт масштаба 1:25000-1:100000 (выделено 1907 воронок), со спутниковых фотоснимков высокой точности (Google, Yandex, Here, Bing; выделено 4195 воронок), а также из архивных материалов исследований прошлых лет (выделено около 110 воронок).

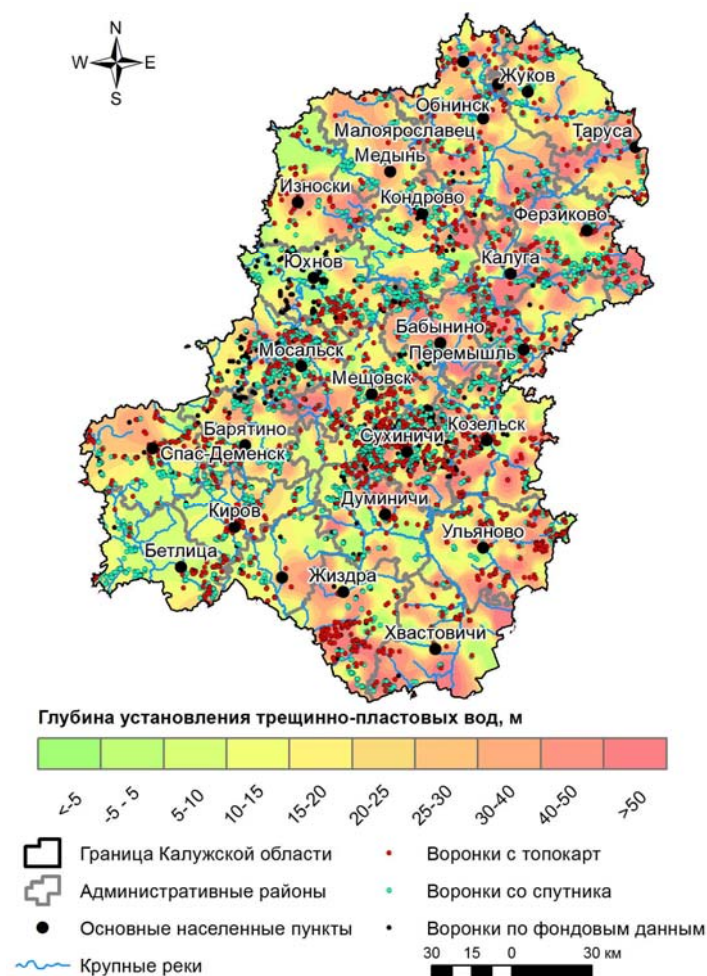


Рис. 3. Карта глубины установления трещинно-пластовых вод, совмещенная с карстовыми формами, развитыми на территории Калужской области

В результате анализа распределения карстовых форм по значениям среднегодовой глубины установления грунтовых вод в пределах Калужской области была установлена тенденция тяготения к логнормальному виду (рисунок 4, А). Основной максимум встречаемости карстопроявлений приурочен к глубинному интервалу установления грунтовых вод 2-4 м. К сожалению, интенсивная эксплуатация подземных вод в пределах выше отмеченных по тексту административных районов, а также широкий ход уровней грунтовых вод в течение гидро-

геологического года, не позволили установить однозначную тенденцию: в распределении отмечается хоть и незначительный, но второй максимум встречаемости карстовых форм в интервале глубин установления 15-17 м. Таким образом, степень сходимости наблюдаемого и теоретического законов распределения можно лишь с натяжкой назвать удовлетворительной. Тем не менее общая закономерность в распространении карстовых воронок по глубине установления грунтовых вод все-таки прослеживается.

Зависимость встречаемости карстовых форм от глубины установления трещинно-пластовых вод обладает большей степенью схождения с теоретическим распределением, чем в ранее описанном случае с грунтовыми водами. Итоговое распределение носит нормальный характер, но содержит в себе небольшую асимметрию в сторону меньших значений (рисунок 4, Б). Анализ кривой распределения свидетельствует о том, что большая часть карстопроявлений тяготеет к участкам с установлением уровня трещинно-пластовых вод, равным 20-40 м, что соответствует глубине залегания кровли карстующихся пород. Таким образом, абсолютное большинство карстопроявлений тяготеет к участкам с низкой величиной напора трещинно-пластовых вод.

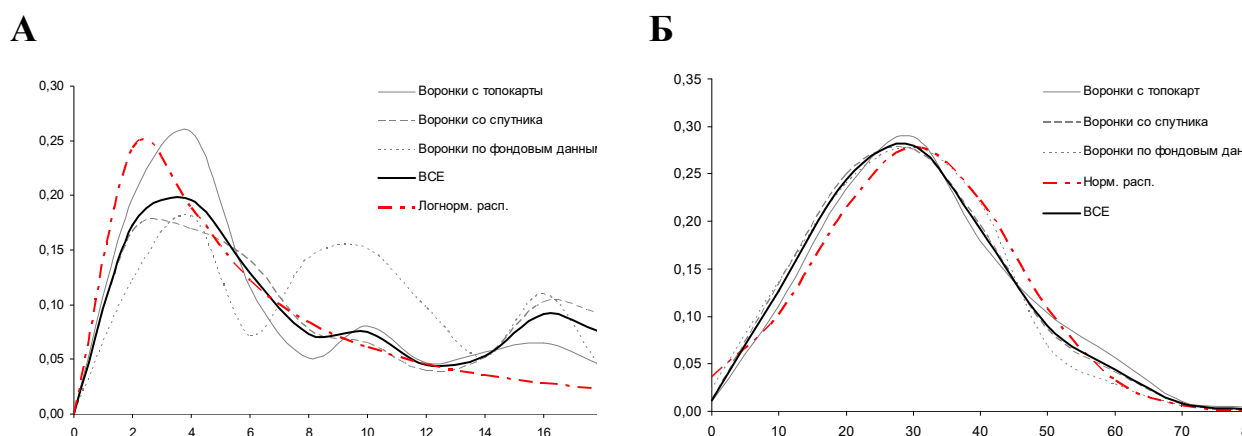


Рис. 4. Частоты встречаемости карстовых форм (ось Y) в равных интервалах значений (ось X): А – глубины установления грунтовых вод, м; Б – глубины установления трещинно-пластовых вод, м

Результаты данного исследования в очередной раз подтверждают, что гидрогеологические особенности исследуемого района, выраженные в уровнях подземных вод, могут быть использованы в карстологическом прогнозе. Ранее нами и нашими коллегами уже отмечались аналогичные тенденции для ряда населенных пунктов Пермского края (Щербаков, Катаев, 2011; Ковалёва, 2017). В данном конкретном примере для территории целого региона – Калужской области – были установлены интервалы глубинного положения уровней грунтовых (2-4 м) и трещинно-пластовых вод (20-40 м), которые могут служить определенными индикаторами опасности развития карста в ходе предварительной оценки.

Библиографический список:

1. Дублянская Г.Н., Дублянский В.Н. Картографирование, районирование и инженерно-геологическая оценка закарстованных территорий. Новосибирск: Изд-во РАН, 1992. 143 с.
2. Дублянская Г.Н., Дублянский В.Н. Теоретические основы изучения парагенезиса карст-подтопление. Пермь: Изд-во Перм. ун-та, 1998. 204 с.
3. Дублянский В.Н., Дублянская Г.Н. Карстоведение. Ч.1. Общее карстоведение: Учеб. пособие / Перм. ун-т. Пермь, 2004. 308 с.
4. Ковалёва Т.Г. Гидрогеологические условия массива, как фактор оценки карстоопасности территории (на примере карбонатно-сульфатного карста Предуралья) // Заметки ученого. Научно-практический журнал. Вып. 6, 2017. С. 82-85.
5. Шилова А.В., Ковалёва Т.Г. Влияние грунтового потока на формирование факторов опасности на территории промплощадки // Сергеевские чтения. Инженерная геология и геоэкология. Фундаментальные проблемы и прикладные задачи. Вып. 18, 2016. С. 364-370.
6. Щербаков С.В., Катаев В.Н. Интегральная оценка карстоопасности урбанизированных территорий (на примере г. Кунгур) // Ученые записки Казанского университета. Серия Естественные науки. 2011. Том 153, кн. 1. С. 203-224.
7. Щербаков С.В. Методика изучения взаимосвязей между карстовыми формами и природными условиями территорий // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 5. (Адрес в сети Интернет: www.science-education.ru/105-7232) (дата обращения: 23.10.2012).
8. Пространственное соотношение химического состава вод иренского водоносного горизонта и карстовых форм (на примере территории г. Кунгура) / Катаев В.Н., Лихая О.М., Ковалева Т.Г., Золотарев Д.Р., Щербаков С.В. // Вестник Пермского университета. Геология. 2009. № 11. С. 66-76.

К.О. Худеньких

ООО «Ергач», ms002@ergach0.ru

ХАРАКТЕРИСТИКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ГИПСА КУНГУРСКОГО РАЙОНА ПЕРМСКОГО КРАЯ

В статье рассматриваются 30 месторождений гипса Кунгурского района Пермского края. Показана их приуроченность к тектоническим структурам, геологическому разрезу, карстовым районам. Приводится сравнительная характеристика геологического строения месторождений.

Ключевые слова: месторождения гипса, тектонические структуры, геологическое строение, карст

K.O. Hudenkikh

ООО «Ergach»

CHARACTERISTIC OF GYPSUM FIELD OF KUNGUR DISTRICT OF PERM REGION

In article 30 fields of gypsum of the Kungur district of Perm region are considered. Their confinedness to tectonic structures, a geological section, karst areas are shown. Comparative characteristic of a geological structure of fields is given.

Key words: fields of gypsum, tectonic structures, geological section, karst

Территория Кунгурского района богата различными полезными ископаемыми. Ведется добыча нефти, газа, гипса, ангидрита, известняка, глины, пес-

чано-гравийных материалов, торфа, подземных вод. Наибольшее экономическое значение имеют месторождения нефти и газа. Второе место занимают месторождения гипса и ангидрита для производства цемента и гипса строительного.

Первые геологоразведочные работы по поиску месторождений строительного гипса были проведены в 1928 г. Разведаны участки горы Бабки (Бабкинское месторождение) и горы Хохловой (в настоящее время Ергачинское месторождение). Наиболее масштабные работы по поиску и оценке месторождений гипса в Кунгурском районе проведены в 1966-1969 гг. Пермским геологоразведочным трестом. Было выявлено 13 месторождений и 6 перспективных участков. На сегодняшний день в Кунгурском районе известно 30 разведанных участков, из которых 22 классифицируются как месторождения (таблица). Все месторождения и участки приурочены к центральной и восточной частям Кунгурского района.

Таблица. Разведанные месторождения и участки гипса в центральной и восточной частях Кунгурского района

Месторождения				Участки	
1	Соколино-Саркаевское	12	Подкаменное	23	Шадейковский
2	Дейковское	13	Плехановское	24	Кочebaхтинский
3	Ергачинское	14	Правоиренское	25	Чернийковский
4	Шубинское	15	Зуята I	26	Паутовский
5	Разепинское	16	Зуята III	27	Черемуховский
6	Бабкинское	17	Новая деревня	28	Голухинский
7	Кругловское	18	Чувирята	29	Заспаловский
8	Кыласовское	19	Банное (Филипповское)	30	Кокуйский
9	Веселковское	20	Шарташи		
10	Кунгурское (гора Рыбная)	21	Кладбищенское		
11	Сылвенское	22	Гора Попова		

Восточная и центральная части Кунгурского района располагаются на восточной окраине Русской платформы в пределах Башкирского свода. Восточная часть Кунгурского района располагается в центральной и северной частях Уфимского вала. Центральная часть района приурочена к восточному крылу Мазунинского вала и Веслянской валообразной зоне, осложнена многочисленными мелкими положительными структурами III порядка: Елкинское, Ожгинское, Лазуковское, Кыласовское, Ергачинское, Троельжанское, Кокуйское поднятия (рис. 1). К таким структурам, как правило, приурочены объекты гипса, на которых разведана лунежская сульфатная пачка кунгурского яруса. На остальных объектах полезная толща представлена демидковской пачкой.

К концу палеозоя в основном было закончено формирование Уральской складчатой системы и консолидация ее с Русской платформой. С этими восходящими движениями Урала происходит окончательное становление Предуральского прогиба. В его центральной части, восточнее г. Кунгура (Сылвенская впадина), развиты терригенно-карбонатные, отчасти сульфатные и галогеновые осадки под названием кошелевской свиты. Скорость прогибания превышала его компенсацию и терригенно-обломочный материал, сносимый с горной страны, полностью оседал в Предуральском прогибе и не распространялся далее на запад.

В условиях замкнутой солоноводной лагуны, простирающейся вдоль вовлеченного в прогибание восточного борта платформы и складчатого Урала, при аридном климате с периодической ее связью с водами морского бассейна происходила осадка хемогенных сульфатов и доломитов. Периодическая связь солоноводной лагуны с водами открытого морского бассейна предопределила двуцикличное строение сульфатно-карбонатного разреза и балансировала концентрацию растворенных в водоеме солей.

В геологическом строении центральной и восточной частей Кунгурского района принимает участие мощный комплекс осадочных пород от докембрийских до пермских включительно. Однако все объекты гипса приурочены к лунежской пачке иренского горизонта кунгурского яруса, а в местах, где она полностью размыта – к демидковской (рис. 2).

Лунежская пачка представлена белыми и серыми гипсами с включениями крупных кристаллов прозрачного гипса. Гипсы сильно трещиноватые, внизу слоистые, содержат прослой желтовато-серого доломита. В нижней части пачки залегают серые ангидриты. В центральной части имеется переходная зона, представленная гипсоангидритом. Демидковская пачка сложена гипсами и ангидритами светло-серыми и серыми, пятнистыми, мраморовидными, сильно загрязненными глинистыми примесями. Также присутствует переходная гипсоангидритовая зона.

Характерной особенностью лунежской и демидковской пачек иренского горизонта является их трещиноватость, что обуславливает высокую закарстованность. Согласно районированию К.А. Горбуновой (Горбунова К.А., 1992) центральная и восточная части Кунгурского района располагаются в трех карстовых районах: нижнесылвенского, иренского и карстового района Уфимского плато (рис. 3). Месторождения и участки гипса расположены преимущественно в нижнесылвенском карстовом районе (23 объекта), остальные в иренском (7 объектов).

Нижнесылвенский карстовый район характеризуется присутствием гипсового и карбонатно-сульфатного карста. Зона активного водообмена и карстообразования складывается нижним (иренский горизонт кунгурского яруса) и верхним (соликамский горизонт уфимского яруса) отделами пермской системы. В местах, где туйские известняки представляют собой водоупор, формируются трещинно-карстовые воды в лунежской пачке. Там, где породы туйской пачки приподняты над руслом рек, лунежский гипсы безводны, а в нижележащих пачках отмечены разобщенные карстовые водотоки. Карст в нижнесылвенском районе проявляется преимущественно в гипсах.

Иренский карстовый район, как и нижнесылвенский, характеризуется преимущественно наличием гипсового и карбонатно-сульфатного карста. Зона активного водообмена и карстообразования складывается породами иренского горизонта кунгурского яруса. В иренском районе аналогичные нижнесылвенскому гидрогеологические условия. Карстовые процессы активно развиваются в гипсах, реже в известняках и доломитах соликамского горизонта (Горбунова К.А., 1992).

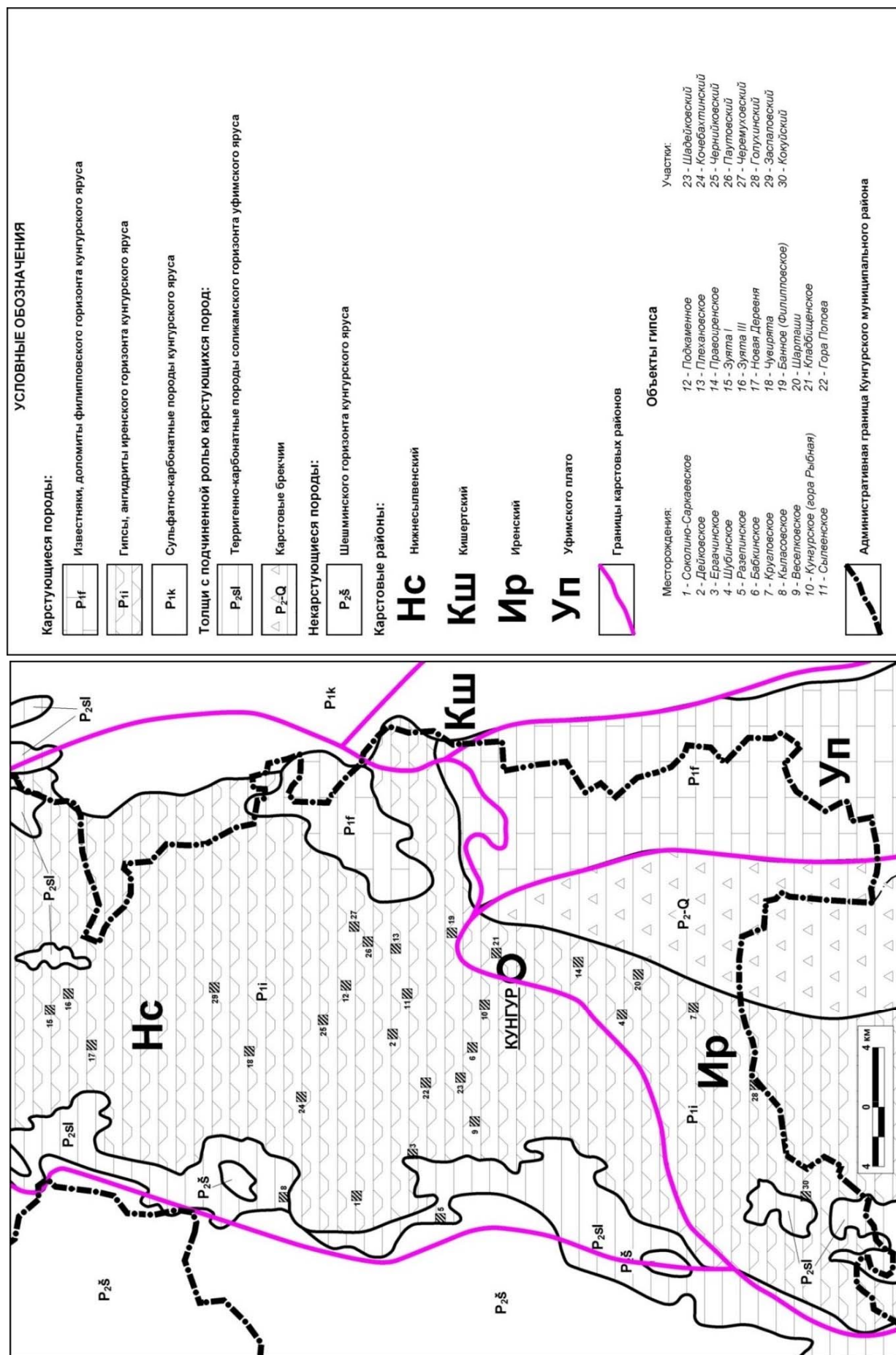
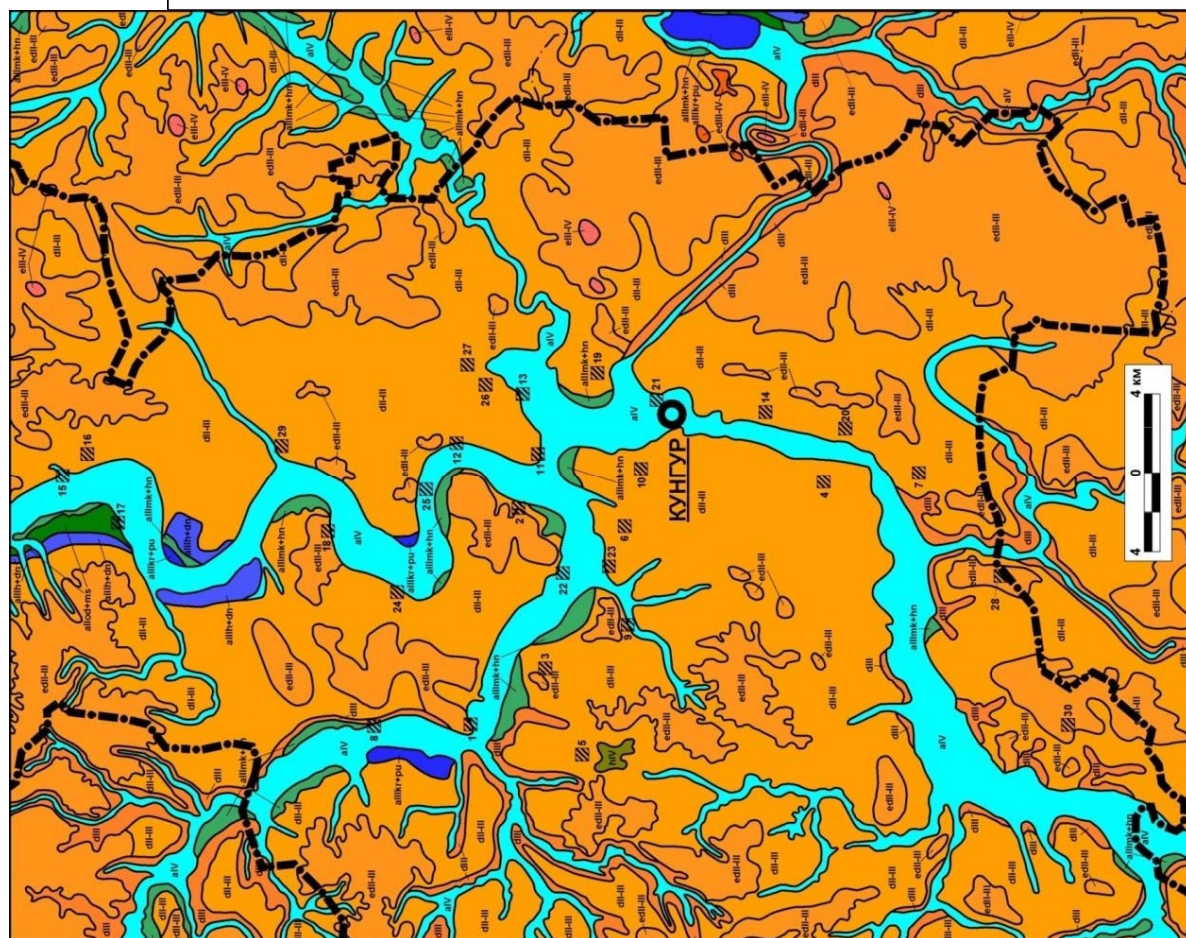


Рис. 3. Фрагмент карты распространения карстующихся пород (центральная и восточная части Кунгурского района, Горбунова К.А., 1992) с нанесенными месторождениями гипса



УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

	Нерасчлененные отложения: элювиальные глины, суглинки, дресва, щебень, крупноглыбовый материал
	Аллювиальные отложения: пески, супеси, суглинки, гравий, галечник, лины и прослой торфа, известкового туфа
	Болотные отложения: торф
	Элювиально-делювиальные глины песчаные со щебнем и глыбами
	Верхнее и современное звено. Элювиально-делювиальные глины песчаные со щебнем и глыбами
	Делювиальные глины, суглинки с дресвой и щебнем
	Каргинский и полярно-уральский горизонты.
	Аллювиальные глины песчаные, суглинки, гравий, галечник (I надпойменная терраса)
	Микулинский и ханьинский горизонты.
	Аллювиальные глины, суглинки, песок, гравий (II надпойменная терраса)
	Делювиально-субаральные отложения лессовидные
	Делювиальные суглинки, супеси, глины бурые со щебнем
	Элювиально-делювиальные глины песчаные со щебнем и глыбами, дресва
	Озюновский и московский горизонты. Аллювиальные пески, супеси, глины песчаные, суглинки, редко гравий с палунами (III надпойменная терраса)
	Лухвинский и неопрогнетский горизонты. Аллювиальные суглинки, глины песчаные, песок, гравий, галечник иногда с валунами (IV надпойменная терраса)

Месторождения	Объекты гипса
1 - Шайболовский	12 - Подвешенное
2 - Сорокино-Сарьяковское	13 - Правдыновское
3 - Еранинское	14 - Правдыновское
4 - Шибинское	15 - Звезда I
5 - Радвинское	16 - Звезда II
6 - Кунгурское	17 - Чирковский
7 - Кунгурское	18 - Чирковский
8 - Кунгурское	19 - Банное (Филипповское)
9 - Восточное	20 - Шарашинское
10 - Восточное	21 - Шарашинское
11 - Силиновское	22 - Гора Писава

Административная граница Кунгурского муниципального района



Рис. 4. Фрагмент карты четвертичных отложений (центральная и восточная части Кунгурского района) с нанесенными месторождениями гипса

Все месторождения гипса сильно закарстованы, о чем свидетельствуют не только многочисленные карстовые воронки и другие поверхностные формы. По данным разведочных скважин в полезных гипсовых толщах развит поверхностный закрытый карст, представленный погребенными воронками, образовавшимися в кровле гипсовой толщи, и внутренний карст – незаполненные и заполненные карстовые полости. Заполнителем погребенных воронок и заполненных полостей в большинстве случаев является обвальное-карстовый материал, состоящий преимущественно из щебня и дресвы карбонатно-терригенных пород, перемешанных с глиной и суглинком.

Вскрышные породы на месторождениях представлены делювиальными, элювиально-делювиальными и аллювиальными отложениями, в состав которых входят пески, супеси, суглинки, гравий, галечник, глины со щебнем и дресвой коренных пород. Четвертичные отложения подстилают соликамские песчаники, алевролиты, аргиллиты с прослоями мергелей и известняков (рис. 4).

Таким образом, месторождения гипса Кунгурского района приурочены к положительным структурам II порядка Башкирского свода: всеянской валообразной зоне и Уфимскому валу. Месторождения гипса, расположенные в пределах поднятий III порядка, разрабатывают лунежскую сульфатную пачку, на пониженных участках, где лунежская пачка размыва, – демидковскую. Геологическое строение гипсовых толщ лунежской и демидковской пачек идентичное. Верхняя часть представлена гипсами, которые сменяет гипсоангидритовая переходная зона, нижние части пачек сложены ангидритом.

Вскрышные породы представлены четвертичными песками, супесями, суглинками, гравием, галечником, глинами со щебнем и дресвой коренных пород, а также соликамскими песчаниками, алевролитами, аргиллитами с прослоями мергелей и известняков. На объектах, где добыча приурочена к демидковской пачке, к вскрышным породам добавляются туйские доломиты. Все месторождения безводны, в пределах полезной толщи иногда присутствуют спорадически распространенные маломощные водоносные горизонты, гидравлически не связанные с поверхностными водотоками (реками).

Карстовые процессы проявлены на всех месторождениях и разведанных участках. На поверхности интенсивно развиты карстовые воронки, провалы и лога. В кровле гипсовой толщи присутствуют многочисленные погребенные карстовые воронки, внутри толщи – незаполненные и заполненные карстовые полости. Заполнителем погребенных воронок и заполненных карстовых полостей является обвальное-карстовый материал, состоящий из щебня и дресвы карбонатно-терригенных пород, перемешанных с глиной и суглинком.

Библиографический список:

1. Горбунова К.А., Андрейчук В.Н., Костарев В.П., Макимович Н.Г. Карст и пещеры Пермской области. Пермь, Изд-во Перм. ун-та, 1992. 200 с.
2. Ковалёва Т.Г. Оценка карстоопасности территории г. Кунгура на основе общегеологического подхода // Вестник Пермского университета. Геология. 2016. № 4 (33). С. 18-25.
3. Влияние геологического строения территории на распределение карстовых форм (на примере территории г. Кунгура) / Катаев В.Н., Щербаков С.В., Золотарев Д.Р., Лихая О.М., Ковалева Т.Г. // Вестник Пермского университета. Геология. 2009. № 11. С. 77-93.

ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ КАРСТА В КИЗЕЛОВСКОМ УГОЛЬНОМ БАССЕЙНЕ

В Кизеловском угольном бассейне развит карбонатный тип карста. Поверхность пластов покрыта элювиально-делювиальными отложениями. В неоген-четвертичное время территория испытывала тектоническое поднятие, а техногенный фактор, связанный с понижением поверхности карстовых вод в результате откачек в период работы шахт вызвали оживление процессов карстообразования. В статье приведены сведения о литологических особенностях карбонатных толщ, структурно-тектонических и гидрогеологических особенностях развития карста.

Ключевые слова: карст, Кизеловский угольный бассейн, гидрогеологические особенности.

V.N. Kataev, D.R. Zolotarev, I.G. Ermolovich
Perm State University, kataev@psu.ru; zolotarev.lpmg@mail.ru; ermol@psu.ru

FEATURES OF THE KARST DEVELOPMENT IN THE KIZEL COAL BASIN

The carbonate type of karst is developed in the Kizel coal basin. The surface of the carbonate strata is covered with eluvial-deluvial deposits, which delay the process of karst formation. In the Neogene-Quaternary time, the territory is experiencing tectonic uplift, and the technogenic factor associated with the pumping of karst waters during the operation of the mines, caused a revival of the processes of karst formation. The article presents information about lithological features of the karsted carbonate strata, structural-tectonic and hydrogeological features of karst development, details of surface and underground karst forms.

Key words: Karst, Kizel coal basin, hydrogeological features

Введение. Кизеловский угольный бассейн практически полностью относится к Кизеловскому району карбонатного карста Западно-Уральской зоны складчатости. Здесь развит среднеевропейский или подэлювиальный тип карста (2, 12). На поверхности карстующихся карбонатов сформированы толщи элювиально-делювиальных наносов, в той или иной степени задерживающие процесс карстообразования. В неоген-четвертичное время территория испытывала тектоническое поднятие, а техногенный фактор, связанный с понижением поверхности карстовых вод в результате откачек в период работы шахт вызвали оживление процессов карстообразования. Откачка больших объемов подземных вод изменила их режим и динамику. Осушаемые горные выработки являлись по сути современным, техногенным базисом коррозии, выше которого происходило смешение по вертикали гидродинамических зон. Откачиваемые карстовые воды из карбонатных толщ и трещинно-пластовые воды из угленосной толщи, после контакта с углями получившие химический облик шахтных вод, сбрасывались в поверхностные водотоки – в которых часть живого потока, а иногда и весь по-

ток поглощались поверхностными карстовыми формами, обуславливая добавочный круговорот и интенсифицируя растворение известняков за счет свободной серной кислоты, содержащейся в шахтных водах.

По возрасту карст бассейна представлен «современными» (кайнозойского возраста) формами и древними (каменноугольного возраста). Наибольшая интенсивность карстопроявлений связана с долинами основных рек широтной ориентировки Б.Кизел, Косьва, Усьва.

Общая закарстованность карбонатной толщи затухает с глубиной. Исключение составляет верхняя часть карбонатной толщи визейского яруса (C_{1V3}), где карстовые формы фиксируются на большой глубине. Результаты глубокого бурения на севере района (шахтное поле № 15) свидетельствуют о наличии карстовых полостей с вертикальными размерами 1,5-2,0 м на глубинах 860-900 м, что соответствует абсолютным отметкам около (-)500 м (рис.). Этап возникновения и развития этих форм связан с перерывом в осадконакоплении, что подтверждается наличием брекчиевидных известняков (карстовой карбонатной брекчии) на контакте пород визейского яруса и среднего карбона.

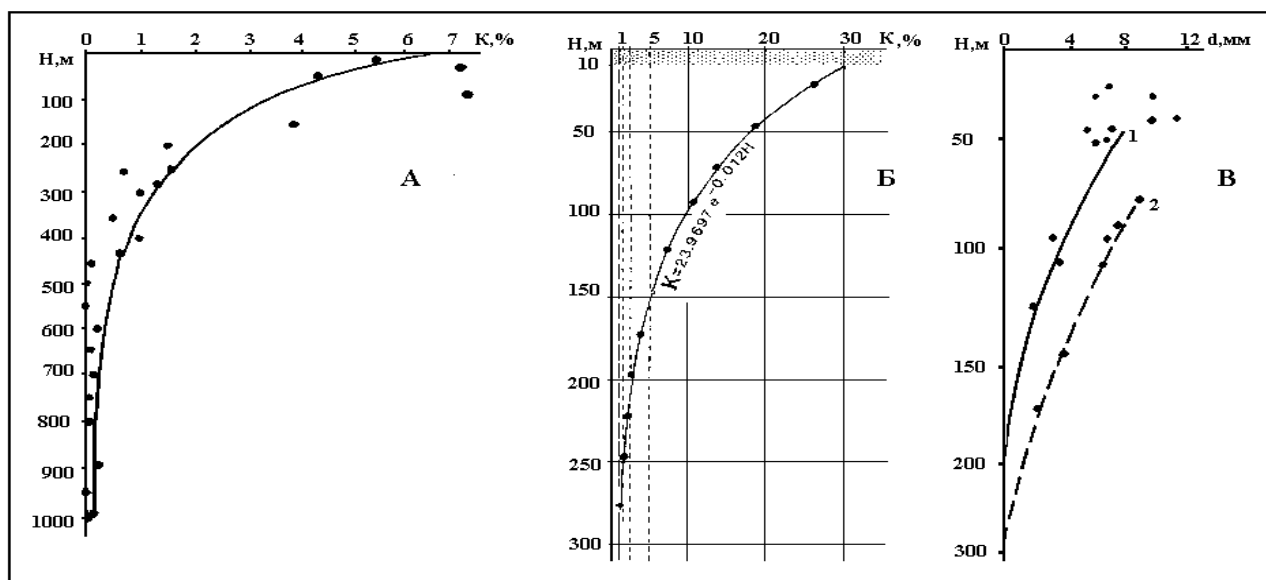


Рис. Характер соотношения между коэффициентами закарстованности (K), раскрытием трещин (d) и глубиной (H): А - в карбонатной толще западного крыла Главной Кизеловской антиклинали (Зап.Урал) по данным 217 буровых скважин (материалы Ю.А. Ежова, 1963); Б - в известняках Динарской провинции по данным 146 буровых скважин (по Р.Т. Milanovic, 1981); В - в толще сланцев Прибалтийского сланцевого бассейна (по М.С. Газизову, 1971)

Основные обстановки развития карста.

Карстующиеся толщи. Несомненно то, что карст в Кизеловском бассейне в первую очередь связан с наличием дислоцированной осадочной толщи преимущественно карбонатных пород. Эти толщи слагают до 75 % всей площади бассейна. Степень закарстованности этой толщи связана с ее литолого-петрографическим составом – наличием глинистости, битуминозности. Пространственное распределение поверхностных и подземных карстовых форм зависит от тектонического строения территории, наличия дизъюнктивных нарушений и трещин различной ориентировки. Большую роль в развитии карстовых

форм играет объем и распределение поверхностного стока, объем инфильтрационных вод.

Структурно-тектонические особенности. Важным в отношении ориентировки регионального подземного стока и развития в первую очередь подземных карстовых форм является то, что Кизеловский каменноугольный бассейн расположен в Западноуральской зоне складчатости (внешняя зона Уральской складчатой структуры). Здесь весь комплекс палеозойских пород смят позднепалеозойскими движениями в серию ассиметричных, опрокинутых на запад складок. По морфологии это складки линейного типа с волнистыми шарнирами, которые осложнены надвигами, сбросами различной амплитуды.

Среди более чем десятка основных складчатых структур района, Главная Кизеловская антиклиналь является наиболее интересной. На крыльях этой складки были сосредоточены все основные угледобывающие шахты. Строение антиклинали достаточно сложное. На участке «Углеуральск-Губаха» структура развита наиболее полно и здесь в ядре складки на поверхность выходят среднедевонские отложения. К северу от этого участка антиклиналь погружается под углом $6-10^0$ и образует две ветви (Восточная и Западная ветви), разделенные узкой Богородской синклиналью. Восточная ветвь в свою очередь осложнена серией мелких синклиналей и севернее г.Кизела срезается Луньевским надвигом.

В южном направлении строение антиклинали еще более сложное – основную структуру затушевывают малоамплитудные вторичные складки. От широты р.Косьвы простираание основной складки меняется с меридионального на юго-восточное и антиклиналь делится на две ветви. Восточная ветвь погружается не достигнув широты р.Усьва, а Западная на отрезке между реками Косьва-Усьва раздроблена разрывными нарушениями. Южнее долины р.Усьва структура вновь прослеживается ясно и в ее ядре выходят известняки визейского яруса.

Основные складчатые нарушения района сопровождаются разрывными нарушениями, в основном представленными надвигами. Наиболее крупный из надвигов – Луньевский. Амплитуда надвига в северной части района превышает 1000 м. Вся аллохтонная часть надвига смята в складки и осложнена разрывными нарушениями.

Следует отметить, что наиболее крупные разрывные нарушения имеют в основном прямолинейные линии разрывов, совпадающие с меридиональным простираанием складок.

Нарушения сплошности пород в виде трещин имеют важное значение, как для понимания процессов перераспределения подземного стока, так и для понимания процессов направленности карстовых явлений и пространственного распределения карстовых форм.

В породах угольного бассейна основная масса трещин относится к трещинам тектонического генезиса и по механизму разделяется на

- трещины сжатия, ориентированные по простираанию пород;
- трещины отрыва, ориентированные по падению пород;

- трещины скалывания, ориентированные под углом 45^0 к падению пород (13, 14).

Отметим, что на участках, где развиты крупные дизъюнктивы, трещины могут иметь местную (региональную) ориентировку.

Основываясь на положениях тектоники и тектонофизики о механизме формирования структур полной складчатости, а также на результатах авторских полевых исследований трещиноватости в породах линейных складок Западно-Уральской зоны складчатости, выделены условные этапы развития данного типа структур (3,4,5).

Два выделяемых этапа протекают совместно, накладываясь друг на друга.

На **первом** этапе, под действием на толщу пород тангенциальных сжимающих нагрузок, ориентированных перпендикулярно длинной оси формирующейся структуры, массив приобретает одноосное напряженное состояние и соответствующую трещиноватость скалывания. Системы трещин скола ориентированы параллельно короткой оси структуры (перпендикулярно длинной оси). При дальнейшем воздействии на толщу пород тангенциальных сжимающих нагрузок наблюдается ее изгибание вдоль длинной оси структуры. На деформированной, изогнутой поверхности возникают касательные напряжения, в результате воздействия которых начинают формироваться продольные трещины отрыва.

С возникновением деформаций изгиба в породах формирующейся структуры фактически начинается **второй** этап ее развития. Толща пород, помимо тангенциальных сжимающих, подвергается воздействию и вертикальных воздымающих усилий. В результате толща приобретает трехосное напряженное состояние и соответствующую трещиноватость, выраженную в системах трещин скалывания, ориентированных по отношению к длинной оси структуры под углом близким к углу скола (α) характерному для данного литологического типа пород.

При заложении тектонической складчатой структуры, в условиях потенциально отвечающих возникновению карстового процесса, последний будет развиваться в соответствии с последовательностью формирования тектонических нарушений в пределах складки. Слагающие складчатую структуру породы оказываются вовлеченными в общий процесс денудационного разрушения и переотложения материала, подчиняющиеся превалирующему тектоническому режиму.

Практика карстологических исследований показала, что максимальное карстоформирующее преимущество получают нарушения сплошности пород 1) совпадающие по простиранию с направлением регионального подземного стока, 2) открытые для формирования субгоризонтального площадного или локализованного потока (водопроницаемые по простиранию пород), 3) обеспечивающие гидродинамическую связь подземных вод разных горизонтов (водопроницаемые по падению пород, 4) имеющие гидродинамическую связь с поверхностной дренажной системой.

Во всех случаях зоны трещиноватости и разломы, пересекающие региональный подземный сток, активны в карстологическом отношении, если они использованы поверхностными водотоками.

В пределах Кизеловского угольного бассейна это придолинные участки и борта долин рек, пересекающие линейные складчатые структуры в широтном направлении, например р.Кизел, р.Усьва, р. Косьва.

Исследование трещиноватости пород показали, что трещины обычно имеют небольшие размеры и не выходят за пределы слоя (пласта). Трещины одной и той же системы в одном и том же слое (пласте) затухают, и рядом с ними кулисообразно расположены другие трещины этой же системы. В соседнем слое (пласте) трещина этого же направления расположена несколько в стороне, кулисообразно по отношению к первой. По простиранию трещины также прослеживаются недалеко.

Гидрогеологические особенности. Подземные воды Кизеловского бассейна приурочены к двум различным группам отложений: к четвертичным отложениям элювиально-делювиального генезиса и к коренным породам палеозоя.

Воды четвертичных отложений, в зависимости от их состава, или циркулируют по отдельным водоносным горизонтам или насыщают всю толщу отложений. Водоносность четвертичных покровов зависит от количества атмосферных осадков. Воды покровов дренируются эрозионными врезами или просачиваются в толщу коренных пород. Запасы вод четвертичных покровов незначительны или ограничены.

Основными подземными водами, влиявшими на особенности угледобычи в Кизеловском бассейне являются:

- пластовые воды, приуроченные преимущественно к отложениям угленосной свиты;
- карстовые и трещинно-карстовые воды карбонатной толщи, покрывающей угленосную свиту (13).

Наиболее распространенными являются трещинно-карстовые воды, из них наибольшее значение при разработках каменного угля приобретали воды карбонатных толщ визейского и серпуховского ярусов (C_{1v3+s}), непосредственно покрывающие угленосную толщу. И пластовые и трещинно-карстовые воды, как правило, имеют атмосферное питание. Объемы питания водоносных горизонтов определяются площадями их выходов на поверхность – инфильтрационным и инфлюационным поглощением поверхностного, в том числе и части руслового стока. Не исключается и взаимное питание водоносных горизонтов в зонах высокоамплитудных разрывных нарушений (9).

Кизеловский район характеризуется небольшим количеством атмосферных осадков. Сумма осадков в районе Кизеловского угольного бассейна составляет 600-800 мм/год, в среднем 700 мм/год. Испарение на севере района достигает 250 мм/год, на юге до 300 мм/год, в среднем 275 мм/год (13). Следовательно, на пополнение запасов подземных вод и поверхностный сток расходуется 400-425 мм/год. Поверхностный сток варьирует от 300 до 400 мм. В пределах выхода на поверхность или под четвертичные отложения закарстованной карбонатной

толщи примерно 50-60 % стока (255-300 мм/год) поглощается трещинами и поверхностными карстовыми формами (воронками). В долинах карстовых рек в ряде случаев поглощение поверхностного стока составляет 100 % (например, р.Вьящер).

Водообильность горизонтов изменяется не только по простиранию пластов в меридиональном направлении, но и по падению. Водообильность угленосной толщи и вышележащей карбонатной толщи связаны со степенью их гидравлической связи с горными выработками.

Подземный сток из верхних горизонтов. Частично водоносные горизонты разгружаются в виде источников в долинах рек и особенно в тех, которые ориентированы вкрест простирания водоносных горизонтов. Районными базисами эрозии являются днища основных рек Б.Кизел, Косьва, Усьва, Вильва. По данным И.А. Печеркина (13) питание этих рек за счет подземных вод составляло около 12,5 м³/сек или около 3,9 км³/год и приблизительно 0,1 км³/год (96 360 000 м³/год) этого питания было обусловлено шахтными водами (подземными водами, откачиваемыми из выработок, находящихся гораздо ниже районных базисов эрозии).

Наличие в районе субширотных долин рек, являющихся по сути региональными дренажными артериями руслового стока, обусловило формирование в придолинной части зон относительно активного поперечного к долине реки стока, перехватывающих воды верхних водоносных горизонтов. Наличие таких зон и их связь с закарстованностью в конце 30-х – начале 40-х гг. XX в. отмечал М.С. Кельманский по результатам изучения гидрогеологических условий производства горных работ под закарстованными отложениями (7, 8).

Позднее на карстовой конференции 1947 г. З.А. Макеев и Ф.А. Макаренко так же отмечали наличие таких зон и их роль в перераспределении подземного стока (10, 11).

В Кизеловском районе наиболее крупной дренажной артерией является долина р.Косьвы, имеющей наибольшую, по сравнению с другими реками, глубину эрозионного вреза. Именно здесь фиксируется наибольший объем перехватываемых подземных вод – до 6,5 м³/сек.

Предположительно, зона поперечного стока имеет мощность 200-250 м. М.С. Кельманский включает в эту зону и так называемую зону активного карста, состоящую в свою очередь из зон вертикальной нисходящей циркуляции (60-100 м), горизонтальной циркуляции (50-70 м), сифонной циркуляции. Разгружаются воды зоны поперечного стока в виде источников в бортах долин рек или непосредственно в русло, русловой аллювий или в подрусловый поток.

В пределах самой долины поперечный сток меняется на продольный соответствующий направлению речной долины и направленный по направлению течения руслового потока в аллювии или в коренном ложе долины по порам, кавернам, трещинам, карстовым полостям. Часть этого потока по мере продвижения встречает гидродинамические барьеры в виде отложений с относительно слабой проницаемостью, поднимается и продолжает движение в аллювии или разгружается в виде восходящих источников по берегам или в русле рек, а

часть пополняет запасы более глубоких горизонтов, участвуя в глубинном стоке.

В целом, подземный сток из верхних горизонтов согласуется простиранием геологических структур. Верхние горизонты до абсолютной отметки +140 м в центральной части района (отметка долины р.Косьва 145-150 м, р. Усьва 163 м) и до + 130 м в южной (отметка долины р.Вильва 135 м) разгружается в речные долины в виде источников или в виде подземных локализованных потоков. С территорий севернее долины р.Косьвы сток имеет южное направление, а с территорий южнее долины р. Косьвы – северное направление.

Сток из верхних горизонтов в пределах Коспашско-Полуденной синклинали направлен на север в бассейн р.Б.Кизел.

Сток из верхних горизонтов в пределах Гремячинской синклинали (южная часть бассейна) направлен на юг к долине р.Вильва.

Глубинный подземный сток в Кизеловском районе имеет преимущественно северное направление и связан с особенностями структурного строения. Сток глубоких горизонтов и сток верхних горизонтов, как правило, по направлению не совпадают.

Глубинный подземный сток происходит по синклинальным структурам Косьвинской, Коспашско-Полуденной, Косогорской. Сток направлен на север и далее в Предуральскую депрессию.

Из синклиналей, расположенных южнее долины р.Косьвы – Бруснянской, Шумихинской, Гремячинской сток идет в Косьвинскую синклиналь, где в условиях замкнутой депрессии подземные воды накапливаются и по разрывным нарушениям перераспределяются в нижележащие горизонты и северную часть района.

Гидрохимические особенности подземных вод. Подземные воды района зоны активного водообмена во всех водоносных горизонтах коренных отложений по составу являются гидрокарбонатно-кальциевыми ($\text{HCO}_3\text{-Ca}$). Третьим компонентом может выступать SO_4 , SiO_2 или Mg . Воды близки к нейтральному или слабощелочному типам – значения pH варьируют в пределах от 7,0 до 7,5. Среднее содержание основных катионов и анионов в подземных водах (в мг/дм^3) района характеризуется следующими значениями: Ca – 48,3; Mg – 10,7; Cl – 7,4; SO_4 – 10,0; HCO_3 – 184,7. Температура воды источников и скважин обычно колеблется в пределах 3° - 5°.

Следует отметить, что в природных подземных водах катионы Fe^{2+} и Fe^{3+} практически отсутствовали. В ряде случаев они присутствовали в водах в виде следов в водах турнейских отложений, в водах угленосной толщи и карбонатной толщи визейского яруса.

Значения минерализации в зависимости от водоносного горизонта изменяются от 200 до 370 мг/дм^3 . Максимальное значение минерализации на уровне 370-375 мг/дм^3 характерно для вод угленосной толщи, где оно определено повышенным содержанием HCO_3 до 235 мг/дм^3 , Ca до 65 мг/дм^3 и SO_4 до 22 мг/дм^3 относительно средних значений по водоносным горизонтам района.

В верхнедевонских, турнейских и визейских отложениях воды в незначительных количествах могут содержать сероводород (H_2S). В некоторых случаях, воды верхнедевонских отложений содержат H_2S до 70 мг/дм^3 . Воды в незначительных количествах (до $4-5 \text{ мг/дм}^3$) могут содержать и углекислый газ (CO_2), содержание которого, например в отложениях угленосной толщи может повышаться до 27 мг/дм^3 .

Содержание кремнезема (SiO_2) в целом для вод района составляет $10-12 \text{ мг/дм}^3$, повышаясь в трещинно-карстовых водах визея и верхнего карбона до 30 мг/дм^3 .

Поверхностные карстопоявления. Поверхностные карстовые формы преимущественно представлены воронками, котловинами, уступами, гротами, логами, суходолами, слепыми долинами и долинами карстовых рек.

Практически все линейные формы поверхностного карста и поля воронок ориентированы меридионально по простиранию пород или по линиям разрывных нарушений.

Воронки являются наиболее распространенной формой. По данным Л.С. Кузнецовой на Луньевско-Кизеловском участке закартирована 1251 воронка. Поля воронок развиты к западу от Луньевского надвига, на правом склоне долины р. Кизел и на водоразделе между реками Кизел и Виашер (9).

В процессе съемки было отмечено, что наибольшая часть воронок развита в условиях пологих углов падения элементов рельефа, где поверхностный сток относительно минимален (табл. 1).

Таблица 1. Распределение воронок на различных по крутизне склонах в пределах поля ш. №6 и поля № 15 (9)

Площадь поверхностей данной крутизны. км^2	Количество воронок	Количество от общего числа воронок, %	Плотность на 1 км^2	Угол склона
13,33	477	68,4	33	$1^\circ-2^\circ$
6,47	148	25,6	23	$4^\circ-5^\circ$
4,2	34	6	9	6°

При этом воронки в сечении конусовидные, а в плане имеют овальную или изометричную форму. Как правило, склон воронки по падению пород пологий ($10^\circ-20^\circ$), а противоположный крутой ($30^\circ-45^\circ$). На дне таких воронок часто имеются поноры. Реже, преимущественно на плоских водоразделах и на пологих склонах водоразделов, встречаются воронки блюдцеобразного сечения. Такие плоские воронки не имеют поноров.

Замечено и то, что поля воронок имеют цепочечный вид или располагаются отдельными группами в меридиональном направлении по простиранию карбонатных пород. Поля воронок приурочены к

- контактам литологически различных пород (часто визейских карбонатов и отложений угленосной толщи);
- зонам тектонических нарушений;

- участкам выходов полого залегающих и хорошо карстующихся пород.

Размеры воронок в плане весьма различны. Наибольший размер достигает 70-80м, а глубина 25-30м.

Все вышеперечисленные причины имеют место, например, на западном крыле Главной Кизеловской антиклинали, где воронки располагаются на границе отложений визея C_1v_3 и среднего карбона (C_2), а также C_2 и C_3 и на полях развития этих пород (табл. 2).

Наибольшее число воронок, в том числе и с понорами, приурочено к карбонатам визейского яруса.

По своему происхождению карстовые воронки главным образом эрозионно-коррозионные, реже провальные. Почти все воронки являются поглотителями как атмосферных вод, так и речных.

Таблица 2. Распространение карстовых воронок на участках выходов на поверхность карбонатных пород каменноугольного возраста в пределах поля ш.№6 и поля №15 (9)

Возраст пород	Количество воронок	В том числе с понорами	% к общему числу воронок
C_1^2 (визейский ярус, C_1v_3)	411	52	62 %
C_2	223	42	33,6 %
C_3	29	1	4,4 %

Гроты встречаются в крутых склонах крупных логов, в их верхней и средней частях. Гроты, как правило, имеют форму полусфер высотой до 4 м, шириной и глубиной до 3м. Предположительно гроты это остатки полостей, срезанных эрозией при углублении долин логов и рек.

Сухие и слепые долины являются характерными формами карстового ландшафта. В Кизеловском районе большое количество рек с долинами, заложенными в известняках, в средних и нижних частях течения теряют свой поверхностный поток. На таких участках формируется подрусловый поток. Подрусловый поток может «опускаться» на глубины более 20м от дна суходола. В некоторых случаях суходола образуют висячие (по отношению к принимающей дрене) долины (Ладейный, Свиной и др.). Днища суходолов осложнены воронками, понорами. В том случае, когда река поглощается в подножии циркообразного обрыва известняковых скал, ее долина принимает вид слепой долины.

Карстовые лога формируются при слиянии воронок, расположенных в виде цепочки. Ориентировка логов связана с ориентировкой зон трещиноватости и ориентировкой пликативных и дизъюнктивных структур.

Карстовые лога осложняют склоны долин рек, а в гидрогеологическом отношении локализуют сток подземных вод, получающий инфильтрационное питание как на водоразделах, так и в самих логах, их устьевых частях, где, как правило, фиксируется большее количество воронок.

Суходола и карстовые реки фиксируются в пределах выходов закарстованных карбонатных отложений. Долины суходолов и карстовых рек имеют эрози-

онно-карстовое происхождение. В таких долинах поверхностный водоток наблюдается только в паводковый период. Такие карстовые формы как воронки и лога приурочены или к их истокам, или к широкому днищу долины в среднем течении.

Подземные карстовые формы. Подземные карстовые формы представлены кавернами, трещинами, расширенными растворением, карстовыми полостями, пещерами. Подземная закарстованность пород оценивалась преимущественно по керну буровых скважин по двум показателям – линейному и объемному коэффициентам. Значения коэффициентов связывались с глубиной залегания пород, с литологическим и химическим составом закарстованных пород отдельных слоев и горизонтов (1).

Данные коэффициенты являются основными при характеристике закарстованности того или иного горизонта в пределах Кизеловского угольного бассейна. Значения этих коэффициентов приводятся при описании закарстованности как по шахтным полям, так и по отдельным горизонтам в специальных разделах отчетов по закарстованности.

Линейный коэффициент закарстованности имеет свои достоинства и недостатки. К достоинствам относится быстрота подсчета, а к недостаткам – недоучет каверн, направленных не вдоль керна, а внутрь его.

Линейный коэффициент вычисляется по следующей формуле:

$$K_{\ell} = \Sigma S \cdot 100 / \Sigma \ell,$$

где ΣS – сумма длины каверн, измеряемая по длине керна не менее чем в двух противоположных направлениях;

$\Sigma \ell$ – длина керна на изучаемом интервале, умноженная на количество измерений.

Определение *объемного коэффициента* более сложно и он определялся преимущественно для горизонтов визейского яруса:

$$K_v = V_{\kappa} / V_a \cdot 100$$

где V_a – сумма объемов определяемых образцов с объемом каверн (каверны залиты стеарином);

V_{κ} – сумма объемов каверн этих образцов.

Для характеристики целого стратиграфического горизонта использовался средний объемный коэффициент закарстованности горизонта.

Каверны и полости имеют различные поперечные размеры. Наиболее часто встречаются каверны с диаметрами от 3 до 5 см. Анализ результатов бурения визейских отложений северного периклинального замыкания Главной Кизеловской антиклинали является подтверждением тесной связи трещиноватости, пористости, кавернозности и полостности (4, 6).

Исследованная толща характеризуется чередованием закарстованных и незакарстованных зон (по разрезу и латерали), определяемым различием в литологическом и химическом составе пород. В разрезе битуминозные песчанистые и глинистые карбонаты практически не закарстованы. Для известняков характерны единичные и относительно крупные каверны и полости, для доломитов – скопления каверн и пор. Каверны и поры зафиксированы по всей толще карбонатных пород до глубин 800 м от поверхности. Чередование известняков и до-

ломитов, содержащих карстовые полости, подразделяется на четыре типа различной степени встречаемости.

I тип. «Доломиты-доломиты». Встречаемость в разрезе 41 %. Поперечные размеры каверн достигают 8 см. Вертикальный размер полостей достигает 7,0 м.

II тип. «Доломитизированные известняки-доломитизированные известняки». Встречаемость в разрезе 11 %. Каверны диаметром от 5 до 8 см. Полости с вертикальными размерами от 3,0 до 7,0 м.

III тип. «Известняки-доломиты». Встречаемость в разрезе 24 %. Вертикальный размер полостей достигает 2,5-3,0 м.

IV тип. «Известняки-известняки». Встречаемость в разрезе 24 %. Вертикальные размеры полостей от 0,2 до 0,5 м, крайне редко до 2,5 м.

Полости в карбонатах, вскрытые при бурении, чаще имеют вертикальные размеры 2-4 м. Встречаются полости без заполнителя и с заполнителем. Полости (высотой до 2 м) обнаружены на отметках ниже уровня моря на 350 м и ниже уровней местных базисов эрозии на 550-600 м.

Пещеры. Только в Кизеловском районе карбонатного карста, расположенного от верхнего течения р. Язьвы на юг до междуречья Усьвы и Вильвы известно более 200 пещер в карбонатных породах девона, карбона и перми. Наиболее крупные из них Кизеловская Виашерская (7600 м), Геологов-2 (3400 м), Рос-сийская (1450 м), Темная (1300 м), Мариинская (1000 м). В Чусовском районе карбонатного карста, который является южным продолжением Кизеловского района, известны 95 пещер в карбонатных породах девона и карбона (2).

Библиографический список:

1. Бунина-Кулинич М.В. Карстовые явления в визейских отложениях полей 6 и 15 и их зависимость от литолого-химического состава пород. Рукоп. фонды, Углеразведка, 1936
2. Горбунова К.А., Андрейчук В.Н., Костарев В.П., Максимович Н.Г. Карст и пещеры Пермской области. -Пермь: Изд-во ПГУ, 1992. -200с.
3. Катаев В.Н., Печеркин А.И., Махорин А.А. Изучение закарстованных и трещиноватых зон в инженерном карстоведении (на примере горно-складчатых областей): Учебное пособие по спецкурсу. Пермь, 1987. 88с.
4. Катаев В.Н. Теория и методология структурно-тектонического анализа в карстоведении: Дис. ... д-ра геол.-минер.наук / ПермГУ.-Пермь, 1999.-451с. (на правах рукописи).
5. Valerii Kataev, Irina Ermolovich. The patterns of the tectonic joints distribution and karst forms in the layer of sedimentary rocks // 18th International Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM 2018. Science and technologies in Geology, Exploration and Mining. 30 June – 9 Jule, 2018. Albena, Bulgaria. Conference proceedings. Issue 1.2. Hydrogeology, Engineering Geology and Geotechnics / Pulished by STEF92 Technology Ltd., 51 “Alexander Malinov” Blvd., 1712 Sofia, Bulgaria. 2018. P. 719-726.
6. Катаев В.Н., Ермолович И.Г. Структурно-текстурные ассоциации, трещиноватость и закарстованность карбонатных пород // материалы VI Всероссийского литологического совещания «Концептуальные проблемы литологических исследований в России». – Казань, 2011, т.I. С. 367-371].
7. Кельманский М.С. Отчет о результатах комплексных гидрогеологических исследований, проведенных в 1938 г. по заданию треста «Кизелуголь». Фонды треста «Кизелуглегеология», 1939.
8. Кельманский М.С. Гидрогеологические условия производства горных работ под карстами на шахтах им. Ленина, им. Володарского и им. Калинина. Фонды треста «Кизелуглегеология», 1941.

9. Кузнецова Л.С. Отчет о геоморфологической съемке Луньевско-Кизеловского участка Кизеловского каменноугольного бассейна /поля шахты 6 Капитальной и Владимирской синклинали/, провед. летом 1948 г., фонды треста Кизелугольразведка, 1949.
10. Макеев З.А. Карст и вопросы подземного стока. Тезисы докладов Молотовской конференции. Молотов, 1947.
11. Макаренко Ф.А. Гидрогеологические закономерности развития карста. Тезисы докладов Молотовской конференции. Молотов, 1947.]
12. Максимович Г.А. Основы карстоведения. Пермь. Т. 1. 1963. 444 с.
13. Печеркин И.А. Подземные и шахтные воды Кизеловского каменноугольного бассейна / диссертация на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук, г. Молотов, 1955. Молотовский государственный университет им. А.М. Горького. 313с.
14. Плюснин К.П. Методика изучения тектонических структур складчатых поясов. Изд-во ПГУ, Пермь, 1971.
15. Пространственное соотношение химического состава вод иренского водоносного горизонта и карстовых форм (на примере территории г. Кунгура) / Катаев В.Н., Лихая О.М., Ковалева Т.Г., Золотарев Д.Р., Щербаков С.В. // Вестник Пермского университета. Геология. 2009. № 11. С. 66-76.

О.В. Клещкина¹, А.З. Ощепкова¹

¹ ФГБУ УралНИИ «Экология», г.Пермь

МЕТОДИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ОБОСНОВАНИЮ КРИТЕРИЕВ ДОПУСТИМОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ОБЪЕКТА РАЗМЕЩЕНИЯ ОТХОДОВ НА ПОДЗЕМНЫЕ ВОДЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Рассмотрены критериальные значения состояния подземных вод, используемые для оценки воздействия объектов размещения отходов на подземные воды. Предложено использование критериев допустимого воздействия объектов размещения отходов на подземные воды. Представлен алгоритм научного исследования в целях обоснования такого рода критериев.

Ключевые слова: критерии допустимого воздействия, подземные воды, объекты размещения отходов, гидрогеологическое моделирование.

O.V. Kletschina¹, A.Z. Oschepkova¹

¹ FSBI UralSRI »Ecology», Perm

ABOUT METHODOICAL APPROACH TO SUBSTANTIATION OF CRITERIA OF ADMISSIBLE IMPACT OF THE SUBJECT OF LANDFILL ON UNDER- GROUND WATERS WITH USE OF HYDROGEOLOGICAL MODELLING

The criteria values of a condition of underground waters used for assessment of impact of subjects to placement of waste on underground waters are considered. Use of criteria of admissible impact of subjects to placement of waste on underground waters is offered. The algorithm of scientific research for justification of such criteria is presented.

Key words: criteria of admissible influence, underground water, landfills, hydrogeological modeling.

По данным федерального статистического наблюдения на конец 2017 на специально оборудованных сооружениях – объектах размещения отходов – размещено 3204,5 млн тонн отходов [1].

Согласно сведениям из государственного реестра объектов размещения отходов [2] в Российской Федерации негативное воздействие на окружающую среду зафиксировано по данным мониторинга на 933 объектах размещения отходов.

Одним из экологических аспектов размещения отходов является поступление загрязняющих веществ из отходов в подземные воды [3]. В свою очередь загрязненные подземные воды, взаимодействуя с другими компонентами окружающей среды, могут приводить к миграции в них загрязняющих веществ, и тем самым приводить к изменению естественных экологических систем, генетического фонда растений, животных и других организмов.

Оценка состояния и загрязнения подземных вод вблизи объектов размещения отходов осуществляется с использованием следующих критериев:

- нормативов качества – гигиенических нормативов, установленных для подземных вод, являющихся действующими или резервными источниками питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения [4];
- концентраций загрязняющих веществ в фоновых скважинах, расположенных выше объекта размещения отходов по потоку подземных вод.

Институтом ФГБУ УралНИИ «Экология» по заказу предприятий различных секторов экономики систематически выполняются научно-исследовательские работы по оценке воздействия объектов размещения отходов на окружающую среду.

Из опыта подобного рода работ известно, что объекты размещения отходов крупных обрабатывающих производств зачастую располагаются в пределах техногенно нагруженной территории с большим количеством источников загрязняющих веществ, аналогичных основным компонентам размещаемых отходов, где подземные воды, испытывающие воздействие от объектов размещения отходов, как правило, не являются действующими или резервными источниками питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения.

В подобных условиях, когда на территории присутствуют действующие или потенциальные источники аналогичного загрязнения подземных вод и подземные воды не имеют целевого назначения, проведение оценки состояния и загрязнения подземных вод и обоснования отсутствия негативного воздействия объекта размещения отходов на подземные воды, предлагаем делать с учетом критериев, под которыми понимается качество подземных вод, при котором соблюдаются нормативы качества поверхностных или подземных водных объектов, в которые они разгружаются.

Обоснование и расчет критериев допустимого воздействия объекта размещения отходов на подземные воды, обеспечивающих соблюдение нормативов качества водных объектов, в которые разгружаются подземные воды загрязненного водоносного горизонта, предлагается выполнять с использованием гидрогеологического моделирования в следующей последовательности:

- 1) исследовать природно-техногенные условия:

- исследовать климатические, геоморфологические, геологические, гидро-геологические и гидрологические условия исследуемой территории,
- установить конструктивные особенности объекта размещения отходов и
- определить состав и свойства размещенных отходов,
- выявить факторы воздействия объекта размещения отходов на окружающую среду,
- определить вещества, характеризующие воздействие исследуемого объекта размещения отходов;

2) выполнить характеристику состояния окружающей среды и оценку воздействия на нее исследуемого объекта размещения отходов:

- установить действующие и предшествующие источники аналогичного загрязнения компонентов окружающей среды,
- определить фоновые концентрации загрязняющих веществ по отношению к исследуемому объекту размещения отходов и оценить его вклад в формирование загрязнения подземных вод и других компонентов окружающей среды,
- определить зону влияния объекта размещения отходов на подземные воды и на и другие компоненты окружающей среды,
- установить наличие взаимодействия подземных вод с другими компонентами окружающей среды и исследовать его с установлением пространственно-временных зависимостей;

3) выполнить прогноз распространения загрязнения в подземных водах с использованием моделирования геофильтрационных и геомиграционных процессов на территории воздействия объекта размещения отходов на окружающую среду:

- создать единое информационно-картографическое пространство объекта исследования,
- сформировать концептуальную гидрогеологическую модель территории,
- создать первичную геофильтрационную модель,
- откалибровать модель по имеющимся фактическим данным,
- создать геомиграционную модель территории;

4) выполнить обоснование и расчет критериев допустимого воздействия на подземные воды:

- проанализировать результаты оценки воздействия объекта размещения отходов на окружающую среду, выполненной на 2 этапе, решить прогностическую задачу распространения загрязнения в подземных водах с использованием геомиграционной модели, созданной на 3 этапе, и на основании этого определить приоритетные поверхностные (или подземные) водные объекты, в которые разгружаются загрязненные подземные воды, и которые являются действующими или резервными источниками питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения и (или) имеют рыбохозяйственное значение,
- выяснить нормативы качества, утвержденные для приоритетных поверхностных (или подземных) водных объектов, не превышение которых в течение всего срока наличия ареола загрязнения в исследуемых подземных водах является главным критерием допустимого уровня загрязнения (при их превышении

по результатам прогноза, необходимо планировать реабилитационные мероприятия в отношении загрязненных подземных вод);

- вычислить с использованием геомиграционной модели параметры, характеризующие фронт загрязнения перед разгрузкой в приоритетный водный объект: 1) концентрацию загрязняющих веществ, 2) ширину фронта загрязнения, 3) время, в течение которого фронт загрязнения достигнет водного объекта,

- рассчитать результирующую концентрацию в водном объекте (рекомендуется выполнять для наиболее пессимистичного варианта прогноза), учитывая следующие параметры: 1) концентрации загрязняющих веществ в водном объекте до момента разгрузки загрязненных подземных вод, 2) объем загрязненных подземных вод в момент разгрузки, 3) объем вод в приоритетном водном объекте вдоль фронта разгрузки загрязненных подземных вод, 4) время обновления вод в приоритетном водном объекте вдоль фронта разгрузки загрязненных подземных вод (в рамках апробации методики учитывалось время обновления речных вод вдоль фронта загрязненных грунтовых вод),

- определить территориальное расположение контрольных скважин, для которых будут рассчитаны критериальные значения уровня загрязнения подземных вод, при непревышении которых в будущем качество вод приоритетного водного объекта будет соответствовать установленным нормативам качества,

- рассчитать критериальные значения уровня допустимого загрязнения подземных вод в контрольных скважинах, решая ряд эпигностических задач с использованием разработанного алгоритма вычисления результирующих концентраций загрязняющих веществ водах приоритетного водного объекта.

Полученные критериальные значения уровня допустимого загрязнения подземных вод в контрольных скважинах в первую очередь необходимо сравнить с концентрациями загрязняющих веществ в этих скважинах, полученных по результатам наблюдений за состоянием и загрязнением подземных вод. При наблюдаемом превышении критериальных значений уровня допустимого загрязнения подземных вод в контрольных скважинах, необходимо планировать реабилитационные мероприятия в отношении загрязненных подземных вод или предпринимать иные действия по снижению загрязнения подземных вод.

Предложенный алгоритм определения критериев допустимого воздействия объектов приповерхностного размещения отходов на подземные воды разработан авторами на объекте приповерхностного размещения отходов в городе Кирово-Чепецк (Клецкина и др. 2013, 2014, 2015).

В пределах исследованной территории имелось загрязнение подземных вод соединениями азота в весьма высоких концентрациях со значительным по площади ореолом загрязнения, сформированное под воздействием объекта приповерхностного размещения отходов. Эксплуатация объекта размещения отходов была прекращена и встала задача по реабилитации загрязненной территории. В результате проведенного исследования была определена зона влияния объекта размещения отходов на отдельные компоненты окружающей среды, а также были рассчитаны и обоснованы критерии реабилитации загрязненных подземных и поверхностных вод, сделан прогноз изменения состояния загрязненных компонентов окружающей среды.

Задачи исследования были решены в соответствии с описанным методическим подходом. Полученные результаты применены на практике и показали свою состоятельность.

Предложенный подход к определению критериев допустимого воздействия на подземные воды может быть реализован и для других объектов размещения отходов, расположенных в схожих природно-техногенных условиях (14), характеризующихся расположением вблизи крупных рек, дренирующих подземные воды четвертичных отложений и испытывающих техногенное воздействие от объектов размещения отходов.

Библиографический список:

1. *Официальная статистика об отходах производства и потребления (Электронный ресурс):* Сайт Федеральной службы государственной статистики. – Режим доступа: http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/environment/#.

2. *Государственный реестр объектов размещения отходов (Электронный ресурс):* Сайт Федеральной службы по надзору в сфере природопользования. – Режим доступа: <http://rpn.gov.ru/groro>.

3. *Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям. Размещение отходов производства и потребления (Электронный ресурс):* ИТС 17-2016. Утвержден Приказом Росстандарта от 15.12.2016 № 1885. – Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

4. *О разработке, установлении и пересмотре нормативов качества окружающей среды для химических и физических показателей состояния окружающей среды, а также об утверждении нормативных документов в области охраны окружающей среды, устанавливающих технологические показатели наилучших доступных технологий (Электронный ресурс):* Постановление Правительства РФ от 13.02.2019 № 149. – Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

5. *Клещкина О.В.* Анализ гидрогеологических условий природно-технической системы в связи с проблемой химического загрязнения аллювиального водоносного горизонта // Геология и полезные ископаемые западного Урала. Статьи по материалам региональной научно-практической конференции. Пермь, 2013 – С. 112-114.

6. *Клещкина О.В.* Определение «зоны влияния объекта негативного воздействия» на подземные воды // Геология в развивающемся мире. Сборник научных трудов по материалам VI научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием. Т. 2. Пермь, 2013. – С. 154-156.

7. *Клещкина О.В., Ощепкова А.З.* Опыт оценки и прогноза воздействия размещения отходов химических производств на окружающую среду // Башкирский экологический вестник. № 2. Уфа, 2013 – С. 25-28.

8. *Клещкина О.В., Красильников П.А., Красильникова С.А.* Гидрогеоэкологическое моделирование влияния объектов размещения отходов на подземные воды // Науки о Земле. Современное состояние. Материалы первой всероссийской молодежной научно-практической конференции. Геологический полигон «Шира», республика Хакасия. Новосибирск, 2013 – С. 240-242.

9. *Коноплев А.В., Красильников П.А., Красильникова С.А., Клещкина О.В.* Картосемиотическая геоинформационная модель как основа для создания гидродинамической модели // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2012. № 84. С. 247-256.

10. *О.В. Клещкина, А.А. Ощепков.* Проблемы экологического состояния природно-антропогенной геосистемы в зоне влияния хвостохранилища мела Кирово-Чепецкого хими-

ческого комбината // Природно-антропогенные геосистемы: мировой и региональный опыт исследований / Курск, 13–16 сентября 2012 года. С. 159-161.

11. Клёцкина О.В., Ощепкова А.З. Об актуальности исследования процессов самоочищения подземных вод в местах размещения отходов химической промышленности // Рециклинг, переработка отходов и чистые технологии: сборник материалов X Международной научно-практической конференции 13 октября 2014 г. – Москва, 2014. – С. 71–73.

12. Клёцкина О.В., Минькевич И.И., Андреев А.И. Исследование процессов самоочищения подземных вод от техногенного загрязнения соединениями азота // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 2; URL: <http://www.science-education.ru/116-12662>.

13. Клёцкина О.В., Ощепкова А.З. Расчет количественных параметров критериев качества грунтовых вод в местах размещения отходов химических производств // Экологическая геология: теория, практика и региональные проблемы: материалы Второй Международной научно-практической конференции 20-22 ноября 2013. Под редакцией: И.И. Косинова. – Воронеж, 2013. – С. 59–62.

14. Клёцкина О.В., Минькевич И.И. Природные и техногенные факторы загрязнения подземных вод вблизи объектов размещения отходов от производства азотных удобрений // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 6; URL: <http://www.science-education.ru/113-11065>.

15. Красильникова С.А., Красильников П.А., Коноплев А.В. Геоинформационное обеспечение гидродинамического моделирования оценки эффективности проектируемой дренажной системы микрорайона Усольский г. Березники Пермского края // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. 2014. № 1. С. 80-85.

В.Н. Катаев, Д.Р. Золотарев, И.Г. Ермолович
ПГНИУ, kataev@psu.ru

ОБВОДНЕННОСТЬ ШАХТ КИЗЕЛОВСКОГО УГОЛЬНОГО БАССЕЙНА – РЕТРОСПЕКТИВНЫЙ АНАЛИЗ

Различные гидрогеологические и горнотехнические условия, в которых разрабатывалась угленосная толща, обуславливали и различные по интенсивности водопритоки в горные выработки – от 2-10 до 3000 м³/час и более. Водопритоки в шахты были обусловлены трещинно-пластовыми водами угленосной толщи и карстовыми водами карбонатов визейского яруса. В статье приведены обобщенные данные по обводненности шахт расположенных в пределах основных складчатых структур Кизеловского угольного бассейна.

Ключевые слова: шахты, Кизеловский угольный бассейн, ретроспективный анализ

V. N. Kataev, D.R. Zolotarev, I.G. Ermolovich
Perm State University, kataev@psu.ru

WATERING OF THE MINES OF KIZEL COAL BASIN – RETROSPECTIVE ANALYSIS

Various hydrogeological and mining conditions, in which the coal-bearing thickness was worked out, caused different intensity of water inflow into the mines – from 2-10 to 3000 m³/h and more. Tributaries to the mine were caused by both surface flood waters and waters from the carbonate strata above the coal-bearing thickness and fractured-formation waters

from the coal-bearing strata. The paper presents generalized data on the watering of the mines located within the main folded structures of the Kizel coal basin.

Key words: Mines, Kizel coal basin, retrospective analysis

Введение. Системное изучение гидрогеологии бассейна наряду с закарстованностью отложений было начато после создания в 1934 году при Уральском геологическом министерстве карстовой станции. В 1938 году эта станция была ликвидирована. В 1940 году уже при тресте «Кизелуголь» станция была вновь организована, но ее деятельность была прервана в 1941 году. Позже, после Великой Отечественной войны, вопросы формирования шахтных вод и обводненности горных выработок в основном освещались в специализированных отчетах гидрогеологической группы при тресте «Кизелуглегеология», созданной в 1945 году. В этих отчетах, в основном, приводилось хронологическое описание притоков по тем или иным шахтам (2).

Различные гидрогеологические и горнотехнические условия, в которых разрабатывалась угленосная толща, обуславливали и различные по интенсивности водопритоки в горные выработки – от 2-10 до 3000 м³/час и более. Притоки в выработки были обусловлены, как поверхностными паводковыми водами, например в шахту Широковская (№ 33), так и водами из надугольной карбонатной толщи, например в шахты Северная (№ 6-кап), им. Ленина, Ключевская (№ 2-кап) и другие. Повышенная водообильность шахт могла быть обусловлена не только поступлением карстовых вод из карбонатной толщи, но и трещинно-пластовыми водами из угленосной толщи. Например, водообильность шахты № 41 (Коспашско-Полуденная синклиналь) в объемах 300-500 м³/час была обусловлена преимущественно водами угленосной толщи.

Гидродинамическая связь подземных и поверхностных вод обусловлена природно-техногенными факторами – высокой трещинно-карстовой проницаемостью углевмещающих массивов, разработкой угля под карстовым водоносным горизонтом, откачкой шахтных вод. Трещинно-карстовые воды по сравнению с межпластовыми и пластово-трещинными наиболее обильны. Они локализованы дизъюнктивными и пликативными нарушениями. Водопритоки в горные выработки, как правило, направляются из трещин осевых зон складок, тектонических нарушений со смещением, карстовых полостей.

Несомненно, что основное влияние на гидрогеологические условия эксплуатации той или иной шахты оказывала структурно-тектоническая обстановка в которой эта шахта была заложена, поскольку подземный сток, его направление и локальные накопления связаны с пликативными структурами.

Обобщенные данные по обводненности шахт расположенных в пределах основных складчатых структур бассейна. Подраздел основан на данных наблюдений за притоками в шахты Кизеловского угольного бассейна в период с середины 40-х до середины 50-х гг. и в 90-е гг. XX в. (1, 3).

Коспашско-Полуденная синклиналь. Шахтами разрабатывались ее восточное крыло и центральная часть. Водопритоки в шахты были обусловлены трещинно-пластовыми водами угленосной толщи и карстовыми водами карбонатов визейского яруса.

Шахты, №№ 38, 9-10, 32, 32-бис, 33-кап, расположенные в южной части восточного крыла синклинали и шахта № 42, находящаяся в северной части западного крыла синклинали были обводнены трещинно-пластовыми водами угленосной толщи, а водообильность притоков зависела от:

- сезона года – максимальные притоки ежегодно фиксировались в апреле-мае и с конца августа до конца сентября (иногда до декабря); притоки в весенний паводок увеличивались в 3-5 раз, а минимальные притоки фиксировались в зимний период, преимущественно в феврале;
- глубины заложения рабочего горизонта – I горизонт 50-70 м³/час, II горизонт 80-100 м³/час, III и IV горизонты 100-120 м³/час, V горизонты 115-200 м³/час;
- плотности дизъюнктивных нарушений шахтного поля – при подсечении горной выработкой разрывного нарушения величина прорывов достигала 80-100 м³/час.

Среди шахт южной части восточного крыла синклинали выделяется шахта 33-кап. Поле шахты осложнено взбросами и сбросами с амплитудой до 10 м и более. Средняя величина притоков из водоносных закарстованных визейских отложений составляла 550-600 м³/час при максимуме в весенний период в 880 м³/час. При выработке приосевой части синклинали приток увеличивался до 1200 м³/час.

Шахты №№ 24-бис, 24-38, 41-кап разрабатывались в пределах локального антиклинального поднятия в центральной части синклинали. Притоки обусловлены трещинно-пластовыми водами угленосной толщи.

Горные выработки этих шахт занимают особое положение, поскольку поля этих шахт находились в сводовой части локального поднятия, разбитого тектоническими трещинами и наличием в непосредственной близости от полей взброса меридионального простирания амплитудой до 460 м, захватывающего и карбонаты визейского яруса. Неравномерность притоков в шахты была обусловлена как паводковыми периодами, так и прорывами трещинно-пластовых вод. В шахте № 24-38 общий приток изменялся от 200 до 400 м³/час. Динамика притоков в шахте № 24-бис явно отражала не только влияние паводков и прорывов, но и влияние роста объемов добычи. В первые годы эксплуатации приток не превышал 200-250 м³/час. Через 8 лет эксплуатации приток повысился до 300-400 м³/час, а через 12 (к 1954 году) приток составлял 450-600 м³/час.

Шахта № 41 изначально отличалась повышенной водообильностью – при проходке вертикального ствола притоки из угленосной толщи достигали 200 м³/час. В период подготовительных работ на I горизонте (+154 м) приток повысился до 375 м³/час, а при аварии во время проходки основного откаточного штрека I горизонта в декабре 1951 г. притоки составили 500-580 м³/час. Впоследствии притоки в шахту составляли 250-550 м³/час.

Главная Кизеловская антиклиналь (ГКА). На крыльях антиклинали были сосредоточены шахты самыми большими объемами добычи (600-800 тысяч тонн в год) и эти шахты были самыми водообильными (от 500 до 2700 м³/час). Характеризуя общую водообильность антиклинали по притокам в шахты, отметим, что отложения на северном погружении ГКА наиболее водообильны, к

югу водообильность отложений уменьшается и становится относительно минимальной к долине р. Косьвы, попадая под дренирующее влияние долины этой реки. Западное крыло антиклинали более водообильно, нежели восточное. Водообильность шахт, расположенных в пределах ГКА, обуславливалась в основном карстовыми водами карбонатной толщи визейского яруса, трещинно-карстовыми водами башкирского яруса и трещинно-пластовыми водами угленосной толщи.

Западное крыло ГКА. В пределах крыла расположены шахты им. Ленина, «Октябренок», № 2-кап, №№ 4, 5, 13, им. Крупской. Среди этих шахт наиболее водообильными являлись шахта им. Ленина, расположенная в северной части крыла (г.Кизел); № 2-кап., расположенная южнее в средней части крыла (г.Углеуральск) и шахта им.Крупской, расположенная в южной части западного крыла (район г.Губаха, левый берег р.Косьва). Притоки в шахту им. Ленина в объемах до 1300 м³/час в основном были обусловлены карстовыми водами визейской карбонатной толщи с северного крыла шахтного поля. Максимальная величина притоков до 1050-1312 м³/час наблюдалась в весенний паводок.

Основные притоки в шахту № 2-кап были обусловлены трещинно-пластовыми водами угленосной толщи и карстовыми водами карбонатной толщи визейского яруса. Притоки из угленосной толщи не превышали 250-350 м³/час, а при поступлении карстовых вод притоки увеличивались до 500-850 м³/час и более.

Шахта им. Крупской отличалась относительно пониженной водообильностью. Основные притоки на уровне IV горизонта (540 м от поверхности) достигали 150-250 м³/час, повышаясь в периоды весеннего паводка до 350 м³/час. Низкая производительность шахты – до 250 тыс. тонн в год и Малая водообильность угленосной толщи и карбонатов визея была обусловлена дренирующим влиянием долины р.Косьвы.

Другие шахты западного крыла ГКА «Октябренок», №№ 4, 5, 13 отличались малыми притоками трещинно-пластовых вод угленосной толщи от 30 до 70 м³/час, повышаясь в паводки до 100 м³/час. Основная причина малой водообильности заключалась в том, что поля этих шахт находились в пределах депрессионных воронок, сформировавшейся в результате откачки поступающих вод в шахту № 2-кап. на севере (дренируемое поле шахты «Октябренок») и шахту им. Крупской на юге (дренируемые поля шахт №№ 4, 5).

Восточное крыло ГКА. В пределах крыла расположены поля шахт им. Сталина, им. Урицкого, им. Калинина, им. 1-го Мая, 9-я делянка, Рудничная, им. Серова, № 21. Шахты им. Сталина, им. Урицкого, им. Калинина характеризовались наибольшей водообильностью.

Поле шахты им. Сталина находилось в пределах депрессионной воронки, сформировавшейся в результате откачки вод из шахты им.Урицкого, в которой добыча велась на 200-250 м ниже, чем в шахте им.Сталина (поле шахты им.Урицкого примыкает с юга к полю шахты им. Сталина).

Шахта им. Урицкого имела 9 рабочих горизонтов. Глубина разработки IX горизонта – 769 м от поверхности (абс. отм. -461,2 м). Объемы притоков варьировали от 180 до 700 м³/час. Притоки карстовых вод были зафиксированы на VII

горизонте после посадки лав и достигали более 600 м³/час. Увеличение притоков подземных вод в паводковые периоды проявлялось слабо в пределах 15-20 %.

На шахте им. Калинина III горизонт (430 м от поверхности земли, абс. отм.-141,5 м) являлся основным горизонтом, обводняющим шахту. Карстовые воды карбонатной толщи визейского яруса играли основную роль в обводнении, обеспечивая притоки до 600 м³/час. Шахта вскрыта штольной длиной 5,5 км и эта штольня перехватывала паводковые воды, отводя их самотеком на поверхность. Общий приток по шахте, включая притоки в штольню, составляли 600-1000 и более м³/час в зависимости от количества атмосферных осадков.

Шахта им. 1-го Мая (левый берег р.Косьвы, южнее шахты им. Калинина) отработала все свои запасы, а горные выработки нижних горизонтов затоплены. Притоки карстовых вод из карбонатной толщи визейского яруса не превышали 480 м³/час, а в зимний период 250 м³/час. Одна из причин относительно небольших притоков – дренированность карбонатов визея долиной р.Косьвы.

Шахта им. Серова (поле расположено к северу от поля шахты им. Сталина) имела 4 горизонта с максимальной глубиной выработок 340 м от земной поверхности (-10 м). Притоки, в основном за счет динамичного поступления трещинно-пластовых вод угленосной толщи от области питания к шахте, не превышали 150 м³/час.

Северное замыкание (погружение) ГКА. Самой водообильной шахтой в Кизеловском угольном бассейне являлась шахта № 6-кап. Суммарный приток по шахте в активный период ее разработки достигал 2742 м³/час. Водообильность практически полностью была обусловлена карстовыми водами надугольной карбонатной толщи. При эксплуатации трех горизонтов (глубина заложения 550 м от поверхности земли, абс. отм. -230 м) притоки составляли 2000-2500 м³/час. Притоки трещинно-пластовых вод угленосной толщи составляли 300-400 м³/час, а при подсечении трещинами обрушения вышележащих закарстованных отложений притоки увеличивались до 700-850 м³/час. Возрастание притока в паводок не превышало 15 %.

С юга к полю шахты № 6-кап примыкает поле шахты им. Володарского. Сама шахта им. Володарского расположена гипсометрически выше шахты № 6-кап. и находилась в зоне депрессионной воронки, сформировавшейся при откачке вод из шахты № 6-кап. До дренирования шахтного поля шахты им. Володарского притоки достигали 680 м³/час, а в период дренирования не превышали 200 м³/час.

Относительно малые синклинали (Богородская, Усьвинская). Шахты в пределах малых синклиналей характеризовались относительно малыми притоками вследствие небольших размеров самих структур, малой производительностью шахт – до 150-200 тысяч тонн в год и низким уровнем карстовых вод. Притоки повышались в периоды весенних паводков.

Например, на шахте «Комсомолец», расположенной в южной части Богородской синклинали, глубина разработки составляла 230 м от поверхности земли (абс. отм.+120 м), а водообильность была обусловлена трещинно-пластовыми

водами угленосной толщи. Средний приток по шахте не превышал 80 м³/час, а в паводки 200 м³/час.

Шахты Нагорная №№ 1 и 2, расположенные в пределах северной центриклинали Усьвинской синклинали характеризовались притоками подземных вод из угленосной толщи и карбонатов визея в средних объемах до 70 м³/час, повышаясь в паводки до 100 м³/час. Максимальная глубина разработки составляла 350 м от поверхности земли (абс. отм.+66 м).

На шахте им. Чкалова, расположенной в южной части западного крыла Усьвинской синклинали глубина заложения горных выработок составляла 250 м от земной поверхности (абс. отм.+50 м). Средние притоки по двум горизонтам шахты достигали 150-200 м³/час, увеличиваясь в паводки до 400 м³/час. Общие притоки по шахте достигали 400-550 м³/час.

Гремячинская синклиналь. Западное крыло синклинали более крутое (угол залегания пород 70-90°) по сравнению с восточным (падение пород 35-60°) и более нарушенное дизъюнктивами в связи с чем шахты западного крыла были более обводнены, чем шахты восточного крыла. Превышение притоков по шахтам западного крыла небольшое – до 30 м³/час.

Восточное крыло разрабатывалось шахтами №№ 61, 62, 63, 64, 65-66 производительностью в среднем до 200 тысяч тонн в год. Глубина разработки составляла 350 м от поверхности земли (±0 м). Общий приток по шахтам восточного крыла в зимние периоды не превышал 90 м³/час, а в паводковые периоды достигал 200 м³/час и был обусловлен трещинно-пластовыми водами угленосной толщи.

Западное крыло разрабатывалось шахтами №№ 68, 69, 71-72, 73-74 производительностью до 200 тысяч тонн в год. Глубина разработки от поверхности составляла 400 м. Общий приток по шахтам западного крыла в среднем не превышал 100 м³/час.

Особое структурно-тектоническое положение занимала шахта № 76-кап – поле на южной оконечности синклинали, осложненное антиклинальным поднятием и дизъюнктивными нарушениями. Шахта отличалась относительно повышенной водообильностью до 200 м³/час.

Притоки характеризовались сезонностью: минимальные по объему фиксировались с января по середину апреля и в декабре, максимальные – с середины апреля по середину мая и в сентябре-ноябре. Притоки летнего периода связаны с количеством выпадающих осадков и в количественном отношении соответствуют средним значениям между притоками зимнего периода и осеннего паводка.

Несомненно, что объемы притоков в горные выработки зависели от сезонности и от объемов инфильтрации поверхностного стока. Вместе с тем, объем инфильтрующегося поверхностного стока сильно различался между шахтными полями, как и его доля в объемах притоков в горные выработки (табл. 1)

Приведенные данные свидетельствуют о том, что объемы инфильтрации атмосферных осадков на территориях конкретных шахтных полей составляли от 9 до 60 % объемов притоков в горные выработки.

Таблица 1. Соотношение площадей шахтных полей, объемов инфильтрационного стока и объемов притоков в горные выработки

Шахтные поля	Площадь поля, км ²	Предполагаемый объем инфильтрации поверхностного стока с площади шахтного поля, млн. м ³ /год (% от объема притоков)	Средний за период эксплуатации шахты объем притоков, млн. м ³ /год
Главная Кизеловская антиклиналь (ГКА)			
<i>Западное крыло</i>			
шх. им. Ленина	13,2	5,28 (34,9)	15,11
шх. Ключевская (№ 2-кап)	2,7	0,81 (9,2)	8,76
шх. Октябренок	4,1	1,23 (59,1)	2,08
шх. №5	2,8	0,84 (43,5)	1,93
шх. №4	3,6	1,08 (55,9)	1,93
шх. им. Крупской	4,6	1,84 (70,0)	2,63
<i>Восточное крыло</i>			
шх. им. Серова	4,5	1,35 (30,8)	4,38
шх. Центральная (им. Сталина)	4,7	1,41 (35,8)	3,94
шх. им. Урицкого	6,4	1,92 (48,7)	3,94
шх. им. Калинина	9,3	3,72 (53,1)	7,01
шх. им. 1 Мая	13,5	4,05 (96,4)	4,20
шх. №13-14 Первомайская	1,6	0,48 (78,7)	0,61
<i>Северное замыкание (погружение) антиклинали</i>			
шх. № 15	11,8	3,54	нет данных
шх. им. Володарского	2,7	0,81 (13,6)	5,96
шх. Северная (шх. №6)	7,6	3,04 (19,3)	15,77
Коспашско-Полуденная синклиналь			
<i>Северная часть восточного крыла</i>			
шх. № 8	1,0	0,30 (13,7)	2,19
шх. № 39	0,9	0,27 (12,3)	2,19
<i>Южная часть восточного крыла</i>			
шх. № 9-10	3,5	1,05 (60,0)	1,75
шх. № 38	3,8	1,14 (66,1)	1,75
шх. № 32	1,7	0,51 (29,1)	1,75
шх. Широковская (33-кап)	13,6	4,08 (54,8)	7,45
<i>Северная часть западного крыла</i>			
шх. № 42	3,1	0,93 (42,5)	2,19
<i>Локальное поднятие дна центральной части синклинали</i>			
шх. № 24 бис	2,5	0,75 (15,6)	4,82
шх. Коспашская (№ 24-38)	1,7	0,51 (11,1)	4,59
шх. им. 40-летия ВЛКСМ (№ 41)	6,8	2,04 (34,7)	5,87
Усьвинская синклиналь			

Шахтные поля	Площадь поля, км ²	Предполагаемый объем инфильтрации поверхностного стока с площади шахтного поля, млн. м ³ /год (% от объема притоков)	Средний за период эксплуатации шахты объем притоков, млн. м ³ /год
<i>Северная центриклиналь</i>			
шх. Нагорная (№ 1-2)	1,2	0,36 (16,3)	2,20
<i>Центральная часть синклинали</i>			
шх. им. 40 лет Октября (шх. Усьва № 1, 2, 3)	35,3	10,59 (96,7)	10,95
<i>Южная оконечность западного крыла</i>			
шх. № 35 им. Чкалова	7,8	2,34 (48,5)	4,82
<i>Шумихинская синклиналь</i>			
шх. Шумихинская	8,9	2,67 (55,4)	4,82
<i>Гремячинская синклиналь</i>			
<i>Восточное крыло</i>			
шх. Гремяченская (№№ 61, 62, 63, 64, 68, 69/70)	6,4	1,92 (87,7)	2,19
<i>Западное крыло</i>			
шх. Западная, Таежная (№ 71; №№ 74/75, 76)	8,6	2,58 (56,7)	4,55

Доля инфильтрующихся осадков зависела не только от годового количества осадков, но и от размеров шахтных полей, проницаемости коренных пород под поверхностными отложениями, расчлененности рельефа шахтных полей и положения шахт относительно элементов структурно-тектонического плана угольного бассейна. Практически на всех шахтах бассейна основные объемы притоков в горные выработки были связаны не с инфильтрационными водами, формирующимися в пределах шахтных полей, а с водами, подземного стока из верхних водоносных горизонтов (абс. отм. нижней части +130 – +140м) и горизонтов глубинного подземного стока (ниже отметок + 140м), области питания которых гораздо шире, чем территории шахтных полей.

Из общей картины выделяются шахты им. Крупской, им. 1 Мая, №13-14 «Первомайская» (Главная Кизеловская антиклиналь), шахта им. 40 лет Октября (центральная часть Усьвинской синклинали) и шахта Гремяченская (восточное крыло Гремяченской синклинали) в которых объемы притоков на 70-96 % были обусловлены объемом инфильтрующихся осадков в пределах соответствующих шахтных полей.

Сравнивая притоки подземных вод по объемам откачиваемых вод на середину 50-х гг. – период интенсивной добычи угля и на начало 90-х гг. XX в. – начальный период ликвидации шахт, отметим тот факт, что почти за 40-летний период по отдельным шахтам объемы притоков возросли от 28 до 60 % (табл. 2). Одна из причин увеличения притоков – увеличение объемов горных выработок.

Таблица 2. Сравнение объемов притоков подземных вод в шахты Кизеловского угольного бассейна

Наименование шахт (старое)	Средние объемы притоков, м ³ /час по периодам		Уменьшение (-), увеличение (+) объемов притоков, %	
	1947-1954 гг.	1990г.		
им. Ленина	до 1300	2150	(+)65	
Северная (№ 6-кап)	до 2500	1250	(-)50	
Широковская (№ 33-кап)	до 880	850	(-)3,4	
Коспашская (№ 24-38)	до 500	550	(+)10	
им. 40-летия ВЛКСМ (№ 41)	до 550	800	(+)45	
Центральная (им. Сталина)	до 700	700	(+)-0	
Ключевская (№ 2-кап)	850	1500	(+)56	
им. Крупской	до 350	250	(-)28,6	
Нагорная (Нагорная 1-2)	100	260	(+)61,5	
Гремяченская (№№ 61, 62, 63, 64, 68, 69/70)	200	до 800 со всех шахт Гремячинской синклинали	260	(+) 23,1
Западная, Таежная (№ 71; №№ 74/75, 76)	300		750	(+)40,0
Скальная	-	400	-	все шахты синклинали (+)16,7
им. 40-летия Октября (Усьва – 1,2,3)	-	1250 шахты были сбиты между собой горными выработками	-	
Шумихинская	-	550	-	

В основном это шахты западного крыла Главной Кизеловской антиклинали и отдельные шахты Коспашско-Полуденной и Гремячинской синклиналей, расположенные в пределах локальных антиклинальных поднятий дна синклиналей. На фоне увеличения объемов средних притоков по отдельным шахтам фиксируется и уменьшение объемов или их стабилизация. Отметим и факты уменьшения объемов притоков по шахте Северная (№ 6-кап) на 50 % и увеличение притоков по шахте им. Ленина на 65 %, учитывая, тот факт, что шахта № 6-кап являлась наиболее водообильной с максимальными притоками до 2750 м³/час, а шахта им. Ленина характеризовалась притоками даже в весенний паводок до 1050-1312 м³/час.

Очевидным является то, что в целом по бассейну водообильность шахт к 90-м гг. XX в. возросла и этот рост, вероятно, связан не с изменением количества инфильтруемых осадков в областях питания водоносных горизонтов, а с относительным увеличением объемов добычи угля – с увеличением объемов выработанного подземного пространства. Несомненно, что на величину притоков влияло прекращение работы отдельных шахт по разным причинам – в связи

с отработкой запасов (им. Калинина, им. Урицкого, Рудничная и др.), объединения горных выработок (им. 40-летия ВЛКСМ) и т.д. в период от 50-х до 90-х гг. XX в. В этот период были открыты и новые шахты (им. 40-летия Октября, Шумихинская, Скальная-2).

Все шахты Кизеловского угольного бассейна в середине 50-х гг. XX в. откачивали в среднем $10\,500\text{ м}^3/\text{час}$, а по состоянию на 1990 г. средний приток подземных вод в шахты бассейна зафиксирован на уровне $11\,382\text{ м}^3/\text{час}$. Увеличение притоков составило 7,7 %.

Сравнение объемов предполагаемых притоков в шахты бассейна и современных объемов изливов шахтных вод. В целом по бассейну объем современных зафиксированных изливов шахтных вод на поверхность составляет $19\,808\,936,2\text{ м}^3/\text{год}$ или $2\,261,3\text{ м}^3/\text{час}$. Сравнивая эту величину с объемом воды, откачиваемым в середине 50-х гг. XX в. в среднем всеми шахтами Кизеловского угольного бассейна на уровне $91\,980\,000\text{ м}^3/\text{год}$ ($10\,500\text{ м}^3/\text{час}$), а по состоянию на 1990 г. на уровне $99\,706\,320\text{ м}^3/\text{год}$ ($11\,382\text{ м}^3/\text{час}$) становится очевидным, что объем современных изливов составляет 20-21 % от предполагаемого объема поступления подземных вод в выработки. Очевидным становится и то, что большая часть поступающих подземных вод в горные выработки (до 79 %) расходуется на подземный сток.

Приведем предполагаемые величины поступления подземных вод в горные выработки по сравнению с зафиксированными объемами изливов по ряду шахтных полей.

Притоки в **шахту им. Ленина (закрыта в 1997г.)** в объемах до $11\,388\,000\text{ м}^3/\text{год}$ ($1300\text{ м}^3/\text{час}$) в 50-х гг. в основном были обусловлены карстовыми водами визейской карбонатной толщи. По состоянию на 1990г. приток увеличился и составил $18\,834\,000\text{ м}^3/\text{год}$ ($2150\text{ м}^3/\text{час}$).

Изливы шахтных вод зафиксированы из главного и вспомогательных стволов и наклонного ствола № 8. Суммарный объем изливов зафиксирован на уровне $2\,659\,780\text{ м}^3/\text{год}$ ($303,6\text{ м}^3/\text{час}$), что составляет 23,4 % от объема притока в 50-х гг. и **14,1 %** от притоков 1990г..

Притоки в **шахту им. Володарского (закрыта в 1963г.)** в 50-х гг. достигали $5\,956\,800\text{ м}^3/\text{год}$ ($680\text{ м}^3/\text{час}$), а зафиксированный объем излива из штольни шахты составляет $117\,427\text{ м}^3/\text{год}$ ($13,4\text{ м}^3/\text{час}$) или **2 %** от объема предполагаемого притока.

Отметим, что горные выработки шахты им. Володарского расположены гипсометрически выше шахты № 6-кап и по этой причине подземный сток должен быть частично перенаправлен именно в сторону поля шахты № 6-кап и поля шахты им. Ленина, примыкающих соответственно с севера и запада к полю шахты им. Володарского.

Шахта им. Крупской (закрыта в 1993г.) в 50-х гг. отличалась относительно невысокими водопритоками за счет малой водообильности угленосной толщи и карбонатов визея, дренируемых долиной р.Косьвы.

Основные притоки на уровне IV горизонта достигали $150\text{-}250\text{ м}^3/\text{час}$ ($2\,190\,000\text{ м}^3/\text{год}$), повышаясь в паводки до $350\text{ м}^3/\text{час}$. В перспективе, при разработке более глубоких V и VI горизонтов ожидалось увеличение притоков до $600\text{-}800\text{ м}^3/\text{час}$ ($6\,132\,000\text{ м}^3/\text{год}$). Водоприитоки в шахту в 1990г. зафиксированы

на уровне 250 м³/час. Современный излив шахтных вод из трубного ходка составляет 123 492 м³/год (14,1 м³/час), что составляет 5,6 % от средних притоков в горные выработки.

Горные выработки нижних горизонтов шахты им. 1-го Мая (закрыта в 1972г.) были затоплены еще в начале 50-х гг. XX в. Притоки карстовых вод из дренированной долиной р.Косьвы карбонатной толщи визейского яруса не превышали 480 м³/час (4 204 800 м³/год). Фиксируемый излив шахтных вод из штольни составляет 123 491,7 м³/год (14,1 м³/час) или 2,9 % от предполагаемых максимальных притоков.

На шахте им. Калинина (закрыта в 1957г.) карстовые воды карбонатной толщи визейского яруса играли основную роль в обводнении, обеспечивая притоки до 600 м³/час. Штольня, вскрывающая шахту перехватывает паводковые воды, отводя их самотеком на поверхность. Общий приток по шахте, включая притоки в штольню, составлял в среднем 800 м³/час (7 008 000 м³/год). Современные изливы шахтных вод из штольни составляют 3 655 148 м³/год (417,2 м³/час), что составляет 52,2 % от притоков подземных вод в горные выработки.

В шахту Коспашская (ранее № 24-38 закрыта в 1998г.) притоки были обусловлены трещинно-пластовыми водами угленосной толщи. Общий приток в 50-х гг. соответствовал 500-550 м³/час (4 818 000 м³/год), оставаясь на этом уровне до 90-х гг. Современный излив шахтных вод из шурфа 2-бис составляет 1 200 876 м³/год (137,1 м³/час) или 24,9 % от общего притока подземных вод в выработки.

В шахту им. Чкалова (закрыта в 1955г.) средние притоки по двум горизонтам шахты достигали 150-200 м³/час (до 1 752 000 м³/год), увеличиваясь в паводки до 400 м³/час. Общие притоки по шахте достигали 400-550 м³/час (до 4 818 000 м³/год). Современные изливы шахтных вод из штольни «Каменка» составляют 83 437 м³/год (9,5 м³/час), что составляет 1,7 % от общих притоков подземных вод в горные выработки.

Шахта Нагорная (ранее Нагорная №№ 1 и 2 закрыта в 1999г.) в 50-х гг. характеризовалась притоками подземных вод из угленосной толщи и карбонатов визея в средних объемах до 70 м³/час (613 200 м³/год), повышаясь в паводки до 100 м³/час. К 1990г. притоки возросли до 260 м³/час (2 277 600 м³/год). Современные изливы шахтных вод из наклонного ствола достигают 207 446 м³/год (23,7 м³/час), что соответствует 9,1 % от объема притоков в горные выработки.

Шахта Западная Таежная (ранее №№ 74/75, 76-кап закрыта в 1997г.) в 50-х гг. отличались относительно повышенной водообильностью до 300 м³/час (2 628 000 м³/год). Водопритоки по шахте в 1990г. достигли 750 м³/час (6 570 000 м³/год). Современные изливы шахтных вод из северной штольни составляют 4 149 658 м³/год (473,7 м³/час) или 63,2 % от объема притоков в горные выработки.

Шахта им. 40-летия Октября (ранее Усьва-1, 2, 3, закрыта в 1997г.) характеризовалась высокими водопритоками до 1250 м³/час (10 950 000 м³/год). Современные суммарные изливы шахтных вод из штольни, шурфа 17, шурфа 56-62 составляют 5 506 161 м³/год или 628,5 м³/час (28,6 % от всех зафиксированных изливов по шахтам бассейна). Суммарные изливы шахтных вод составляют 50,3 % от объема притоков в горные выработки.

Анализируя приведенные данные по современным излиям шахтных вод отметим, что объемы изливов по разным шахтам изменяются от 1,7 до 63 % от объемов притоков. Положение шахтного поля относительно элементов структурно-тектонического плана территории бассейна является одним из факторов наряду с относительно большим объемом инфильтрующихся осадков, сравнимых с притоками.

Библиографический список

1. *Имайкин А.К., Имайкин К.К.* Гидрогеологические условия Кизеловского угольного бассейна во время и после окончания его эксплуатации, прогноз их изменений / Перм. гос. нац. иссл. ун-т. –Пермь, 2013, 112с.
2. *Карпенко Л.В.* Отчет о результатах наблюдений за режимом шахтных вод по шахтам за период 1944-1946 гг. Фонды треста «Кизелуглегеология», 1947.
3. *Печеркин И.А.* Подземные и шахтные воды Кизеловского каменноугольного бассейна / диссертация на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук, г. Молотов, 1955. Молотовский государственный университет им. А.М. Горького. щ313с.

О.Б. Наумова¹, Б.С. Лунев¹, В.А. Наумов²

¹ПГНИУ, poisk@psu.ru

²ЕНИ ПГНИУ, г. Пермь; naumov@psu.ru

ПРИРОДНАЯ И ТЕХНОГЕННАЯ СОСТАВЛЯЮЩИЕ ПОДРУСЛОВОГО КАРСТА

Подрусловой карст в Прикамье проявляется в пределах русел рек на территории развития карстующихся пород. Техническая деятельность человека, связанная с использованием поверхностных и подземных вод, усиливает процессы растворения пород и активизирует развитие подруслового карста.

Ключевые слова: аллювий, карстовые процессы, подрусловой карст

O.B. Naumova¹, B.S. Lunev¹, V.A. Naumov²

¹Perm State University, Perm; poisk@psu.ru

²Natural Science Institute of PSU, Perm; naumov@psu.ru

NATURAL AND TECHNOLOGICAL COMPONENTS OF KARST UNDER THE RIVER

Karst under the river bed in the Kama region is manifested in the zone of distribution of karst rocks. People use surface and ground water. Technical human activity intensifies the process of dissolution of rocks and stimulates the development of underflow karst.

Key words: alluvium, karst processes

Подрусловой (подаллювиальный, камский) карст выделен Г.А. Максимовичем (Наумова О.Б. , 2001). В границах русла реки обводненность долины максимальная. В течение всего года, а не сезонно, как это происходит на водораз-

делах и склонах, вода размывает карстующиеся породы. Интенсивность растворения зависит от водности рек и увеличивается во время паводка. В зимний период образование льда приводит к повышению концентрации растворенных компонентов.

Скорость растворения коренных карстующихся пород наибольшая под руслом, где формируется отрицательная форма рельефа. В процессе растворения отметка кровли коренных пород снижается. Происходит локальное опускание по долине реки в пределах регионального подъема земной коры. Вместе с кровлей опускается на более низкие отметки накапливающийся на карбонатных и сульфатных породах аллювий русловой фации (галечники и песок), а также перекрывающие его пески фации прирусловой отмели и глины фации поймы и стариц. Боковая эрозия не способна перебивать такой низко расположенный в долине аллювий. Эти отложения становятся захороненным, неперебиваемым аллювием – «мёртвым» аллювием (термин авторов). При каждом новом перебиве вышележащих речных отложений захороненные осадки наращиваются сверху аллювием малой мощности. За длительный период времени формируется продольная карстовая форма, соответствующая ориентировке речной долины. Такие процессы протекают в современных долинах рек Сылва, Ирень, Иргина и других, находящихся в зоне развития сульфатных пород.

Подрусловой карст действует постоянно, с более или менее одинаковой интенсивностью, поскольку главный агент выщелачивания – вода в русле – присутствует постоянно независимо от времени года. Этот процесс идет интенсивнее в трещиноватых породах, т.к. вода проникает внутрь горного массива. Подрусловой карст не затухает и тогда, когда вода скользит по карстующимся породам, не имеющим трещин. Происходит плоскостная поверхностная денудация, напоминающая поверхностную денудацию плоскостного смыва при накоплении делювия. В обычном карстовом процессе в трещиноватом массиве идет накопление (насыщение) полостей и трещин продуктами выщелачивания (кольматация). Это снижает агрессивность жидкой фазы выщелачивания. При подрусловом карсте продукты выщелачивания активно транспортируются постоянно действующим речным потоком. Избыточного насыщения воды не происходит. Процесс выщелачивания не ослабевает. В результате конечный продукт поверхностного выщелачивания может быть значительным.

В Прикамье все речные долины испытывают неотектонический подъем. На площадях развития терригенных пород создаются эрозионно-аккумулятивные террасы. В то же время в границах карстующихся пород идет обратный процесс – проседание осадков, обусловленное карстовыми опусканиями. Этот процесс наиболее активно проявляется, прежде всего, в границах современного русла. В ряде пунктов некоторых речных долин Прикамья карстовые опускания проявляются интенсивнее неотектонического подъема. На этих участках создаются особого типа наложенные аллювиальные свиты с полным разрезом фаций или с частично сохранившейся нижней частью разреза аллювия. Захороненная часть русловой фации аллювия состоит из галечников с песком. Галечники представляют собой захороненный аллювий, накапливающийся в зоне недоступности руслового потока при перебиве аллювия в процессе меандрирования реки.

Многократное наслоение такого разновозрастного аллювия и представляет собой гравийное месторождение. Этот принцип сохраняется и при формировании аллювиальных россыпей и имеет для их оценки огромную значимость.

Подрусловой карст проявляется в сульфатных и карбонатных породах. При этом обычно в русле находится терригенный материал аллювия, выступающий в качестве эродирующего или аккумулярующего фактора.

Подрусловой карст в сульфатных породах, перекрытых терригенными породами в таких долинах рек как Ирень, Иргина, Сылва приводит к площадному опусканию территории долины реки. В долинах рек озеровидные расширения в зонах притоков и бифуркации русла сменяются зонами сужений. Зоны сужений долины реки вниз по течению расширяются. Подрусловой карст в карбонатных породах, перекрытых терригенными породами, часто приводит к формированию песчано-гравийных и песчаных месторождений. Примером тому может быть группа месторождений таких как Подкаменско-Плашкинское в том числе с мелкими ценными минералами (Наумов и др., 2010; Лунев и др., 2013).

Техногенные факторы также способствуют интенсификации процесса подруслового карста. В зоне зарегулированного стока и развития сульфатных пород выше Камской ГЭС интенсивность подруслового карста возрастает из-за периодического сброса воды. Зимой уровень поверхности р. Камы в районе п. Демидково понижается на 5-10 м. В зимний период повышается концентрация сульфатов в воде, особенно в нижней части русла и в подрусловых условиях. Снижение уровня воды приводит к более интенсивному выносу материала в днище долины и повышению растворимости пород в подрусловых условиях. В весенний период уровень водохранилища р. Камы повышается.

Объем водной массы, пропускаемой через Камскую и Воткинскую ГЭС, неуклонно растет. Директор филиала ПАО «РусГидро-Воткинская ГЭС» А.Г. Бяков сообщил, что «в начале эксплуатации Воткинской ГЭС для обеспечения судоходной отметки нижнего бьефа 66 м достаточно было расхода 650 м³/с. В 1996-2000 гг. ...необходимо было обеспечить расход 1200 м³/с. В 2019 г. ...требуется расход 1350 м³/с» (Протокол ..., 2019). Уровень рр. Камы и Чусовой в течение года меняется как минимум дважды.

Техногенное поступление хлоридных рассолов в воду р. Камы в районе гг. Соликамска и Березники обеспечивают соледобывающие предприятия, которые сбрасывают в Каму рассолы с технологическими водами. По информации А.П. Лепихина и А.В. Богомолова (2018) в настоящее время удельный объем образования избыточных рассолов на предприятиях Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей (ВКМКС) составляет 1 м³ рассолов на 1 т готовой продукции. Соответственно, при современном объеме производства в 10 млн т/год объем избыточных рассолов достигает 10 млн м³/год. При расширении производственной мощности в ПАО «Уралкалий», запуске дополнительных производств в ООО «ЕвроХим-Усольский калийный комбинат» и ПАО «Акрон» следует ожидать роста объема избыточных рассолов до 20 млн м³/год.

На участках поступления хлоридных вод, территориально связанных с зоной распространения солей Верхнекамского месторождения солей, растворимость гипсов возрастает в 4 раза, что приводит к более интенсивному развитию

подруслового карста. В случае неравномерного развития пустот в сульфатном карсте возможно формирование «двухэтажных» рек или «потери» потока и «ныряние» русла в меженный период.

Существующая практика отведения избыточных рассолов в поверхностные воды бассейна р. Камы привела к увеличению содержания хлоридов в р. Каме (Воткинском водохранилище) в районе г. Перми более чем в 10 раз по сравнению с периодом до активного освоения ВКМКС. Концентрация соляных рассолов (растворов) ниже зоны их поступления от разработки ВКМКС в русле р. Камы во много раз выше. Сброс рассолов высокой плотности без начального их разбавления приводит к значительной вертикальной неоднородности содержания загрязняющих веществ по глубине водохранилища. На отдельных его участках содержание загрязняющих веществ в придонной области более чем на порядок превышает их содержание в поверхностных горизонтах (Лепихин, Богомолов, 2018).

Свидетельством того, что зимой растворение больше, является увеличение минерализации вод на дне р. Камы (работы Новогор Прикамье в пределах Чусовского водозабора. Так как оголовки коммунального водозабора располагаются, как правило, на значительной глубине в силу необходимости поддержания его устойчивой работы во время глубокой зимней межени, то создается угроза качеству откачиваемых вод (Lepikhin et al., 2017).

При строительстве моста через р. Чусовую в районе развития карстующихся пород было принято решение построить дамбы. Одна из опор моста оказалась подвешенной. Под основание опор было помещено около 60 эшелонов цемента. Автомобильный мост через р. Чусовую, по всей видимости, тоже испытывает проблемы, связанные с подрусловым карстом. Неравномерное проседание, связанное с подрусловым карстом приводит к подмыву опор, что может привести к разрушению деталей или части моста.

Таким образом, при планировании и проведении работ в зоне развития сульфатного карста на участках его интенсивного проявления, следует учитывать роль и возможности негативного проявления подруслового карста. Особенно важно его просчитать в зоне верхнего бьефа ответственного гидротехнического сооружения Камской ГЭС и в 10-20 км зоне возможного строительства каких либо инженерных сооружений и мостов.

Библиографический список:

1. Лунев Б.С., Наумова О. Б. Речные террасы и формы рельефа соляного карста в Прикамье // Вестник Пермского университета. Геология. – Пермь, 2001. – С. 140-144.
2. Лунев Б.С., Наумова О.Б. Строение аллювия и песчано-гравийные месторождения карстовых зон // Международный симпозиум «Инженерная геология карста». – Пермь, 1992. – С. 118–120.
3. Лунев Б.С., Наумова О. Б., Килин Ю. А., Минькевич И. И. Формирование аллювия в условиях подруслового сульфатного карста на реках Ирень и Сытва // Гидрогеология и карстование. Вып. 14. – Пермь, 2002. – С. 296–303.
4. Максимович Г.А. Основы карстования. – Т.1. Пермь, 1963. – 444 с.
5. Наумова О.Б. Атлас форм рельефа. Формы рельефа Прикамья. – Т. 3. – Пермь, 2001. – 316 с.

6. *Протокол №1 заседания Научно-технического совета Камского БВУ.* http://kambvu.ru/files/nts/protokol_N1_07.02.2019.pdf
7. *Лепихин А. П., Богомолов А. В.* Особенности отведения избыточных рассолов предприятий калийной промышленности в поверхностные водные объекты // Горный журнал. 2018. № 6. С. 21-24. DOI: 10.17580/gzh.2018.06.04
8. *Lepikhin A. P., Voznyak A. A., Tiunov A. A., Bogomolov A. V.* On the Issue of Correction of Calculation Methods and Initial Hydrological and Hydro/chemical Information Input in the Process of Regulation of the Technogenic Impacts on Water Bodies. Water Sector of Russia: Problems, Technologies, Management. 2017. No. 1. pp. 58–77.
9. *Наумов В.А., Лунев Б.С., Наумова О.Б.* Мелкие ценные минералы россыпей // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки. 2010. № 4 (158). С. 123-126.
10. *Лунев Б.С., Наумов В.А., Наумова О.Б.* Мелкие ценные минералы в аллювии // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. 2003. № 6 С. 53.
11. *Наумов В.А., Лунев Б.С., Наумова О.Б.* Техногенные месторождения – резерв минеральной базы России // Вестник Пермского университета. Геология. 2011. № 1. С. 50-56.

ПРОБЛЕМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И РАЗМЕЩЕНИЯ ПОЛИГОНОВ ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ В ПЕРМСКОМ КРАЕ

Полигоны твердых коммунальных отходов являются источником длительного негативного воздействия на окружающую среду. При их проектировании и изысканиях возникают проблемы связанные с несовершенством нормативной базы, отсутствием исходных данных по особенностям территории, согласованиями размещения с органами управления и местными жителями, строительством очистных сооружений.

Ключевые слова: Полигон ТКО, нормативная база, фильтрат, водоупорный экран.

Yu.A. Kilin, I.I. Minkevich, A.S. Nogovitsin

Perm State University, iks-org@mail.ru

WASTE IN PERM KRAI PROBLEMS OF DESIGN AND PLACEMENT OF POLIGONS OF SOLID MUNICIPAL

Poligons of solid municipal waste are a source of long negative impact on the environment. At their design and researches there are problems connected with imperfection of the regulatory base, lack of basic data on features of the territory, coordination of placement with governing bodies and locals, construction of treatment facilities.

Keywords: Poligon SMW, regulatory base, filtrate, waterproof screen.

В настоящее время в России и в большинстве развитых стран захоронение ТКО на полигонах остается наиболее распространенным методом их обезвреживания. В России около 95–97 % ТКО размещается на полигонах и свалках без предварительной обработки при слабо развитой системе раздельного сбора и извлечения вторичного сырья и опасных компонентов. В настоящее время масса потока твердых коммунальных и приравненных к ним отходов (ТКО), поступающего ежегодно в биосферу, достигал почти геологического масштаба и составляет около 400 миллионов тонн в год. Полигоны ТКО являются источниками длительного негативного воздействия на окружающую среду на протяжении многих сотен лет, основным фактором этого воздействия является поступление в окружающую среду высокотоксичного фильтрата и биогаза, содержащего парниковые газы и токсичные вещества.

В Пермском крае насчитывается около 30 санкционированных свалок. Из них требованиям СанПиН соответствуют лишь четыре полигона: в д. Софроны, Краснокамске, пос. Звездном и Березниках. В тоже время в крае выявлено 1423 несанкционированные свалки общей площадью около 208 га. По данным Государственной инспекции по экологии и природопользованию общая сумма штрафов за это составила 7588 тыс. рублей. Наиболее благополучным выглядит

полигон города Перми в д. Софроны, но здесь отсутствует очистка сточных вод «фильтрата», нет сортировочных линий. Складирование твердых коммунальных отходов проводится без должного контроля. Вместе с коммунальным мусором на полигон поступают ртутные лампы, батарейки, детали радиоэлектроники, старые неиспользованные медицинские препараты, косметика, средства бытовой химии. Это является серьезным дополнительным (часто непредсказуемым) источником загрязнения почво-грунтов, поверхностных и подземных вод.

При строительстве нового полигона площадку под его расположение необходимо выбирать таким образом, чтобы исключить возможность ее затопления, подтопления и заболачивания близко расположенными ручьями, реками, озерами и болотами.

По высотным отметкам площадка должна располагаться по отношению к прилегающим территориям таким образом, чтобы не служить дренажным бассейном.

Не допускается строительство полигона: на территории первого, второго и третьего поясов зон санитарной охраны источников централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения и источников минеральных вод, поверхностных вод, а также в границах водоохранных зон водных объектов.

Теоретически и практически доказано, что не существует идеально водонепроницаемых пород. Глина, классический водоупорный материал, так же не является абсолютным экраном. Экспериментальные и полевые исследования водонепроницаемости глинистых экранов показали, что через них достаточно легко проникают воды с высоким содержанием хлоридов. В связи с этим принято над водонепроницаемым экраном из глины или тяжелых суглинков устраивать дренажную систему для перехвата отжимных вод (рис. 1).

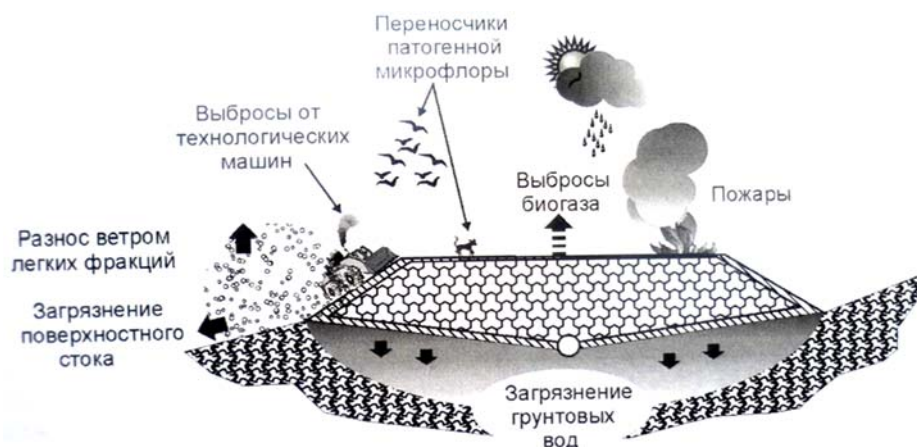


Рис.1. Воздействие полигона ТКО на окружающую среду (Вайсман, 2012)

Следует применять также искусственные водонепроницаемые экраны (полимерные пленки, бентонитовые маты и др.) с обязательным устройством над ними дренажей с отводом фильтрата в специальные накопительные емкости. Такие технические приемы позволяют предотвратить поступление фильтрата в поверхностные и подземные воды.

Воздействие полигона на водный режим прилегающей территории, значительно:

- а) изменяется поверхностный сток вследствие отвода части его от площади полигона;
- б) существенно изменяется режим подземных вод вследствие изменения баланса «осадки – испарение – инфильтрация – сток» на полигоне и вокруг него;
- в) изменяется режим питания ближайших к полигону малых рек и ручьев;
- г) возрастает потенциальная опасность утечки с территории полигона загрязненных стоков, «фильтрата».

Загрязнения грунтовых вод могут происходить в виде проникновения через дамбы и растекания по прилегающей территории или путем инфильтрации через грунтовое основание полигона. Образование фильтрата происходит при поступлении твердых коммунальных отходов массовой влажности от 30 до 80 %, в качестве стартовой влажности начала процесса перегнивания считают влажность 50 %. В процессе перегнивания выделяется значительное количество тепла, что приводит к разогреву тела полигона и частичному таянию снега в зимний период (температура на полигоне в г. Перми в январе на глубине 10,0 м составила $+18^{\circ}\text{C}$). Полигон проявляет себя как интенсивный биогеохимический реактор (Минькевич, 2017). Большая часть «фильтрата» образуется при атмосферном питании. Выпавшие дождевые осадки быстро проникают к грунтовому основанию полигона, по пути они насыщаются различными химическими соединениями и элементами (минерализуются) вследствие растворения, выщелачивания, обменно-адсорбционных процессов. А в основании полигонов, как правило, образуется зона формирования «фильтрата». По данным мониторинговых исследований на полигоне в г.Перми (район д.Сафроны) она может достигать 10,0 м (при наличии суглинистого или глинистого основания) (рис. 2).



Рис. 2. Схема расположения полигона ТКО г. Перми у д. Сафроны.

Максимальное образование фильтрата наблюдается в весенне-летний период, зимой при прекращении питания атмосферными осадками он сокращается до минимума, при этом минерализация его достигает максимальных значений (Минькевич, 2017).

Образующийся фильтрат представляет собой сложную многокомпонентную систему простых, сложных и комплексных химических соединений, большая часть которых является нестабильной. Минерализация варьирует от 3,0 до 70,0 г/дм³, преобладающие анионы – HCO_3 , NH_4 и Cl , катионы – K , в меньшей степени – Ca . Из тяжелых металлов преобладают: железо, кадмий, кобальт, марганец, медь, мышьяк, никель, свинец, титан, хром, цинк. По данным Л.П. Грибанова, 1995, Я.И. Вайсмана, 2000 в фильтрате присутствуют органические соединения – жирные кислоты, фенолы, спирты, эфиры, парафин, алкалоиды, хлорорганические соединения, полициклические ароматические углеводороды, а также жизнеспособные микроорганизмы различных физиологических групп (сапрофита, сульфатвосстанавливающие, метаногенные, окисляющие углеводороды).

В процессе формирования фильтрата происходят существенные изменения его состава во времени. Первые 3-5 лет характеризуются выраженной кислотной фазой с высоким значением БПК (биологический показатель кислорода) и ХПК (химический показатель кислорода). Далее в ходе анаэробной метаногенной фазы значительно снижаются БПК и ХПК, происходит осаждение тяжелых металлов, гидроокисей, сульфидов, карбонатов.

Примером расчета образования объема фильтрата в основании полигонов служит проект прошедший федеральную экспертизу для строительства полигона ТКО для п. Куеда (автор Килин Ю.А.). Как показали расчеты по проектируемому полигону образование фильтрата (на площади 1.8га) в первые годы эксплуатации (до шести лет) составит 2036 м³/год при этом среднесуточный объем – 5,6 м³. После закрытия полигона и его рекультивации (организация глинистого экрана на поверхности полигона) образование фильтрата уменьшается и по расчетам составит 436 м³/год.

Образующиеся при складировании ТКО газы активно участвуют во многих физико-химических и биохимических процессах. (Е.М. Сергеев и др., 1985). В зоне аэрации наиболее велика роль газовой составляющей. В слабоводонасыщенных грунтах (влажность ниже максимальной гигроскопической) значительная часть газов находится в адсорбированном состоянии. Наиболее активно адсорбируются углекислый газ, азот, кислород, водород, но они могут вытесняться молекулами воды при увлажнении грунта, выделяясь в атмосферу. Это приводит к загрязнению атмосферы, появляется неприятный запах, часто происходит горение выделяемого газа. Для удаления его из тела полигона устраиваются газоотводные трубы для его сбора и последующей утилизации.

Недоучет отрицательных природных факторов может значительно снизить эффективность разрабатываемых защитных мероприятий и повысить вероятность отрицательных воздействий полигона на окружающую среду.

К числу природных «факторов риска» на территории Пермского края относятся: наличие близкого расположения к поверхности трещиноватых коренных пород с большими коэффициентами фильтрации (более 1,0м/сут.), малой мощностью зоны аэрации. Ослабленные зоны тектонических нарушений, интенсивная закарстованность массивов горных пород которые являются очагами инфильтрации и даже инфилюации загрязненных вод.

Итак, при проектировании и строительстве полигонов ТКО возникают проблемы связанные с отсутствием нормативных документов, правовых актов по

выбору площадок, механизма согласования с природоохранными органами, порядка проведения публичных слушаний, правовых нормативов по публикациям в центральных и местных СМИ.

Библиографический список:

1. Вайсман Я.И. и др. *Управление отходами. Полигонные технологии захоронения твердых бытовых отходов. Рекультивация и постэксплуатационное обслуживание полигона.* ПНИПУ. Пермь, 2012. –243с.
2. Минькевич И.И. , Килин Ю.А. *Экологическая гидрогеология и гидрогеохимия.* ПГНИУ. – Пермь, 2017.– 232с.
3. Килин Ю.А., Минькевич И.И., Клёцкина О.В., Катков В.А. Гидрогеоэкологические условия полигонов твердых бытовых и промышленных отходов в Пермском крае // Вестник Пермского университета. Геология. 2012. № 1 (14). С. 53–65.

¹И.В. КУСТОВ, ²Ю.О. БЕЛОНОГОВА

ПГНИУ, ¹rintintin@mail.ru,
ФГБУ УралНИИ «Экология», ²belon36@mail.ru

ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ТЕРРИТОРИАЛЬНОЙ СХЕМЫ ОБРАЩЕНИЯ С ОТХОДАМИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ (НА ПРИМЕРЕ ВОРОНЕЖСКОЙ ОБЛАСТИ)

В статье рассматриваются вопросы подготовки электронной модели и картографического материала при разработке территориальной схемы обращения с отходами. Описываются преимущества использования Геоинформационных систем при подготовке этих моделей. На основе созданной модели дается оценка экологической нагрузки по количеству образующихся отходов в разрезе муниципальных районов и городских округов

Ключевые слова: экологическая нагрузка, территориальная схема обращения с отходами, геоинформационное моделирование, картография, ГИС.

¹I.V. KUSTOV, YU.O. BELONOGOVA²

Perm State University, ¹rintintin@mail.ru
UralNSI “Ecology”, ²belon36@mail.ru

ENVIRONMENTAL LOADS ASSESSMENT WHEN CREATED A TERRITORIAL WASTE TREATMENT SCHEME USING GIS TECHNOLOGIES (EXAMPLE ON THE VORONEG REGION)

The article deals with the preparation of an electronic model and cartographic material in the development of a territorial waste management scheme. The advantages of using geographic information systems in the preparation of these models are described. On the basis of the

model created, an assessment of the environmental load is given by the amount of waste generated in the context of municipal districts and urban districts.

Key words: environmental load, territorial scheme of waste management, geoinformation modeling, cartography, GIS.

В марте 2016 года Правительство Российской Федерации утвердило требования к составу и содержанию территориальных схем обращения с отходами, в том числе с твердыми коммунальными отходами. Согласно этому документу, территориальная схема обращения с отходами должна содержать картографический материал, который может быть разработан в виде электронной модели.

Назначение территориальных схем обращения с отходами хорошо раскрыто в работе «Территориальные схемы обращения с отходами в системе стратегического и территориального планирования субъектов Российской Федерации» (Ощепковой, Столбова, 2015).

Использование геоинформационных систем для подготовки такого картографического материала позволяет создавать электронную карту содержащую, помимо визуализированных данных, дополнительную, скрытую информацию, используемую по мере необходимости. ГИС – система хранит информацию в виде тематических слоев, которые можно просматривать по отдельности или отображать сразу несколько. Еще одним преимуществом создания такой электронной карты является возможность ее автоматического масштабирования в зависимости от требований к печатной форме выходного картографического материала.

Кроме того, создание геоинформационной базы данных территориальной схемы обращения с отходами позволит включить эту информацию в единую региональную ГИС органов государственной власти, а на ее основе принимать обоснованные управленческие решения. Так, в работе «Особенности разработки территориальной схемы обращения с отходами на основе региональной ГИС» (Попов, Белый, 2016) показаны особенности разработки такой системы на основе региональной ГИС.

Еще одним преимуществом использования ГИС является то, что результаты электронного картографирования могут быть использованы в качестве исходных данных для дальнейшего анализа и оценки территории (Коноплёв, Красильников и др. 2009, 2012, 2013, 2014). Нами на основе собранных данных была проведена оценка экологической нагрузки территории по количеству образования отходов в пределах муниципальных районов.

Экологической нагрузкой называется степень антропогенного воздействия на природные комплексы, вызывающего изменения компонентов экосистемы, которые могут привести к нарушению выполняемых ими природных функций.

Поэтому целью выполнения работы стало создание геоинформационной базы данных по источникам образования отходов, количеству отходов, направляемых на использование, обезвреживание, размещение для разработки территориальной схемы обращения с отходами Воронежской области, а на ее основе ранжирование территории по степени экологической нагрузки.

Для этого на первом этапе необходимо создать электронную модель. В качестве программного продукта была выбрана программа фирмы Esri ArcGis 10.3.

Для топоосновы использовалась цифровая картографическая основа открытого пользования масштаба 1:100 000 на территорию Воронежской области (представлена заказчиком).

Исходными данными послужили материалы статистических служб об имеющихся на предприятиях Воронежской области видов отходов, их объемах, направлениях использования и утилизации.

На первом этапе работы была проведена оценка достаточности исходных данных для создания геоинформационной системы, подготовка и предоставление Заказчику дополнительного перечня исходных данных.

На втором этапе, на базе программного продукта ArcGis 10.3, создавалась ГИС-система по образованию, обращению с отходами на территории Воронежской области, включающая:

- Источники образования отходов.
- Виды обращения с отходами по источникам образования отходов.
- Места централизованного накопления отходов.
- Объекты размещения отходов производства и полигонов ТКО.
- Специализированные объекты по обработке, утилизации, обезвреживанию отходов.

ГИС-система по образованию и обращению с отходами на территории Воронежской области реализована на базе программного продукта ArcGis 10.3 и представляет собой набор векторных слоев в формате базы геоданных *.gdb с атрибутивной информацией.

Исходя из того, что в настоящее время ГИС предоставлены разными программами, то существует возможности конвертировать данные из одного формата в другой.

ГИС-система по образованию и обращению с отходами на территории Воронежской области реализована на базе программного продукта ArcGis 10.3 и представляет собой набор векторных слоев в формате базы геоданных *.mdb с атрибутивной информацией. В качестве системы координат геоинформационной системы выбрана система координат Pulkovo 42 зона 7 со следующими параметрами картографической проекции:

- Проекция: поперечная Меркатора;
- Эллипсоид: Красовского;
- Центральный меридиан: 39;
- Широта полюса истинных координат: 0;
- Параметр сжатия: 1;
- Сдвиг по X: 7500000;
- Сдвиг по Y: 0.

Физически геоинформационная система представляет собой файл проекта с расширением «.mxd» и папку, содержащую источники данных с именем vectors, в которой храниться база данных с именем «источники отходов.mdb». Файл проекта создан с использованием относительных путей и внутреннего

домена данных (папки), ссылки вне которого отсутствуют, что позволяет при передаче системы открывать ее в любой удобной для пользователя директории и обеспечивает информационную целостность базы данных и результатов. Состав базы данных представлен на рисунке 1.

Рис. 1. Структура созданной базы данных

Пространственная привязка объектов (источников образования отходов) осуществлялась в ручном режиме путем адресного позиционирования на территории Воронежской области, то есть у каждого объекта в данных статистических служб имеется почтовый адрес, при оцифровке оператор находил этот адрес на карте и ставил соответствующий карто- или графознак.

В качестве топографической основы для пространственной привязки источников по обращению и образованию отходов Воронежской области использовалась электронная версия схемы территориального планирования Воронежской области и бесплатно распространяемые электронные карты OpenStreetMap, имеющие в населенных пунктах детальность проработки до названия улиц и номера дома (рис. 2).

Пространственная привязка источников образования отходов соответствует юридическому или почтовому адресу предприятия, указанному в регистрационных документах юридического лица, и не всегда соответствует реальному местоположению источника образования и накопления отходов

Кроме пространственного положения объекта база данных содержит и дополнительную (атрибутивную) информацию (рис. 3).

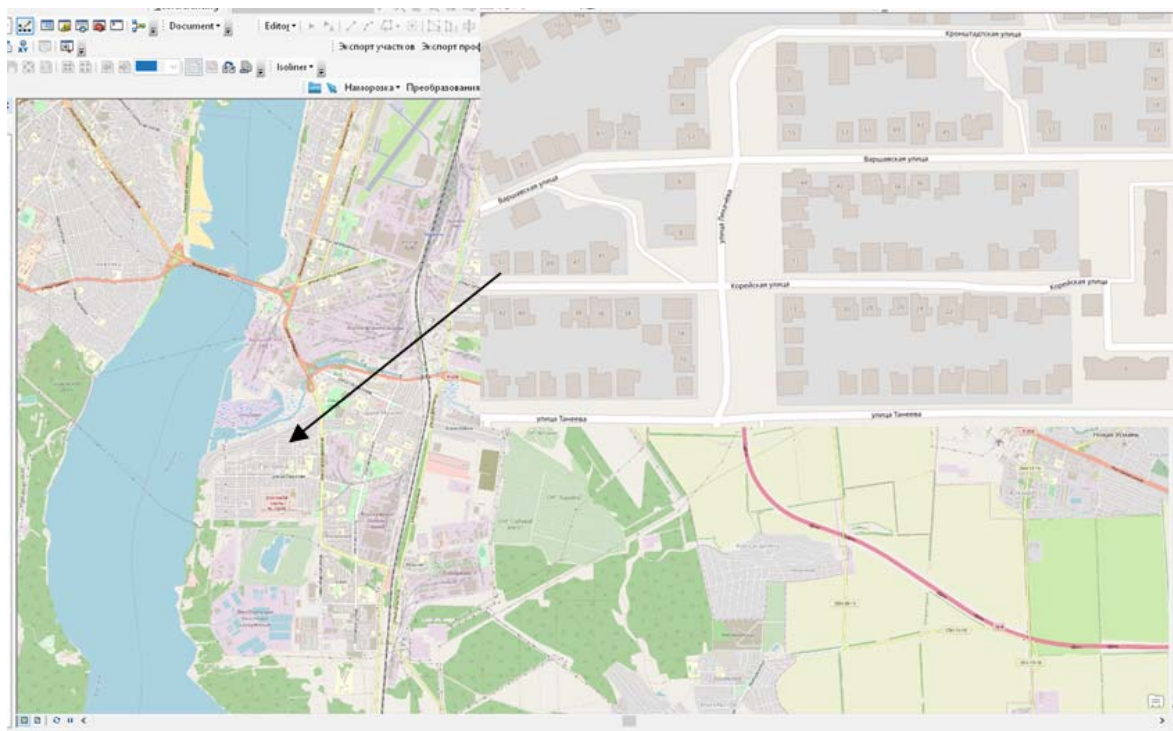


Рис.2. Электронная подоснова карты OpenStreetMap с номерами домов

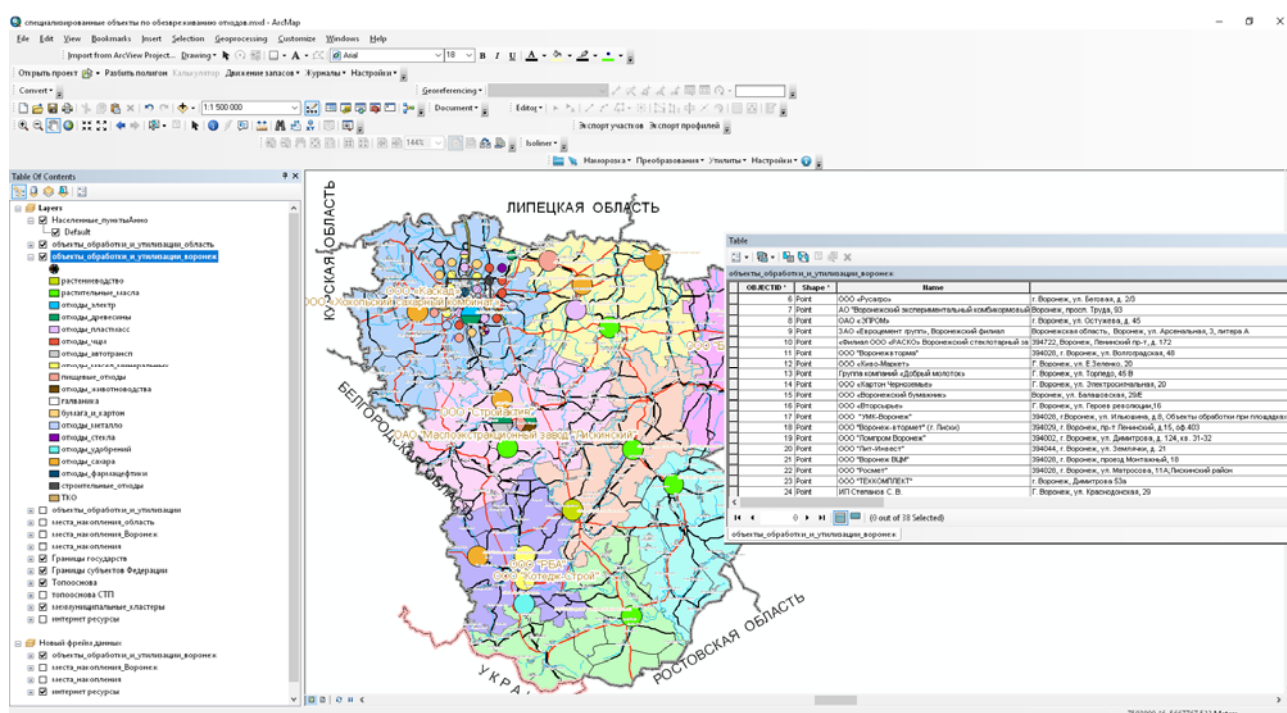


Рис. 3. Атрибутивная таблица в базе геоданных

По каждому источнику образования отходов реляционная база данных (атрибутивная таблица) содержит следующую информацию: номер на карте, название организации, вид отхода, год, за который представлена информация, группа ОКВЭД, код вещества, класс опасности, фактический адрес, код ОКАТО, объем отходов образованных предприятием за отчетный период, объем отходов, используемых предприятием, объем отходов, обезвреживаемых предприятием,

объем отходов, переданных другим предприятиям, объем оставшихся отходов на конец отчетного периода.

Созданная база данных послужила основой для создания и разработки макетов тематических карт при разработке территориальной схемы обращения с отходами Воронежской области.

Современные геоинформационные системы и, в частности, Arcgis – являются не только инструментом хранения и пространственного анализа координатно-привязанных данных, но и обладают достаточно мощными картографическо-издательскими возможностями. Они обладают богатым набором карто- и графознаков, огромным инструментарием для создания зарамочного оформления карт. Таким образом, создание и разработка макетов карт также осуществлялась в ArcGis. Единственное, в чем возникает особенность использования ArcGis при создании макетов карт – в 1 файле проекта возможно создание только одной карты.

Важнейшей задачей при создании карты является разработка системы условных знаков. В настоящее время для многих тематических карт системы условных знаков разработаны и утверждены на федеральном или региональном уровнях. Так, в области геологии разработаны даже электронные базы изобразительных средств карт геологического содержания, которые по уникальному коду автоматически подбирают необходимый условный знак, его цвет и размер. В момент подготовки картографического материала для территориальной схемы обращения с отходами утвержденных картознаков и графознаков не было, поэтому авторы разработали свои знаки, согласованные с заказчиком. Современные ГИС позволяют создавать графознаки любой сложности. К примеру, отображение мест образования отходов животноводства, используя ассоциативный ряд, можно было отобразить в виде коровы или другого домашнего животного, но мы поступили проще, используя в качестве графознака простейшие геометрические фигуры (круг, квадрат, пятиугольник) с использованием цветовой окраски.

Тем не менее, на картах источников образования отходов, помимо тип отхода, необходимо было указать вид его использования, поэтому графознак пришлось усложнить. В итоге цвет кружочка показывает источник образования отхода, а дополнительный элемент в виде стрелочки показывает вид его использования: стрелочка вниз – передача для захоронения, стрелочка вверх и вправо – передача для использования (обезвреживания), стрелочка вверх, вправо и буква «х» – передача для хранения (обезвреживания).

В результате выполненной работы были подготовлены следующие макеты карт:

1. Источники образования отходов при водоподготовке.
2. Источники образования отходов при сжигании угля.
3. Источники образования отходов растениеводства.
4. Источники образования отходов минеральных удобрений.
5. Источники образования отходов производства изделий из стекла.
6. Источники образования отходов производства резиновых изделий.
7. Источники образования отходов обработки металлов.

8. Источники образования отходов обработки древесины.
9. Источники образования отходов животноводства.
10. Источники образования отходов пищевых продуктов.
11. Источники образования отходов добычи известняка, доломита, мела.
12. Карта мест централизованного накопления отходов.
13. Карта расположения объектов размещения отходов производства и полигонов ТКО.
14. Карта размещения специализированных объектов по обработке, утилизации, обезвреживанию отходов.

Макеты карт подготовлены в формате *.pdf в масштабе 1:500 000 для печати на листах формата А1. Картосхемы сделаны в масштабе 1: 2 000 000 для печати на листах формата А4. Уменьшенные копии нескольких макетов представлены на рисунке 4.

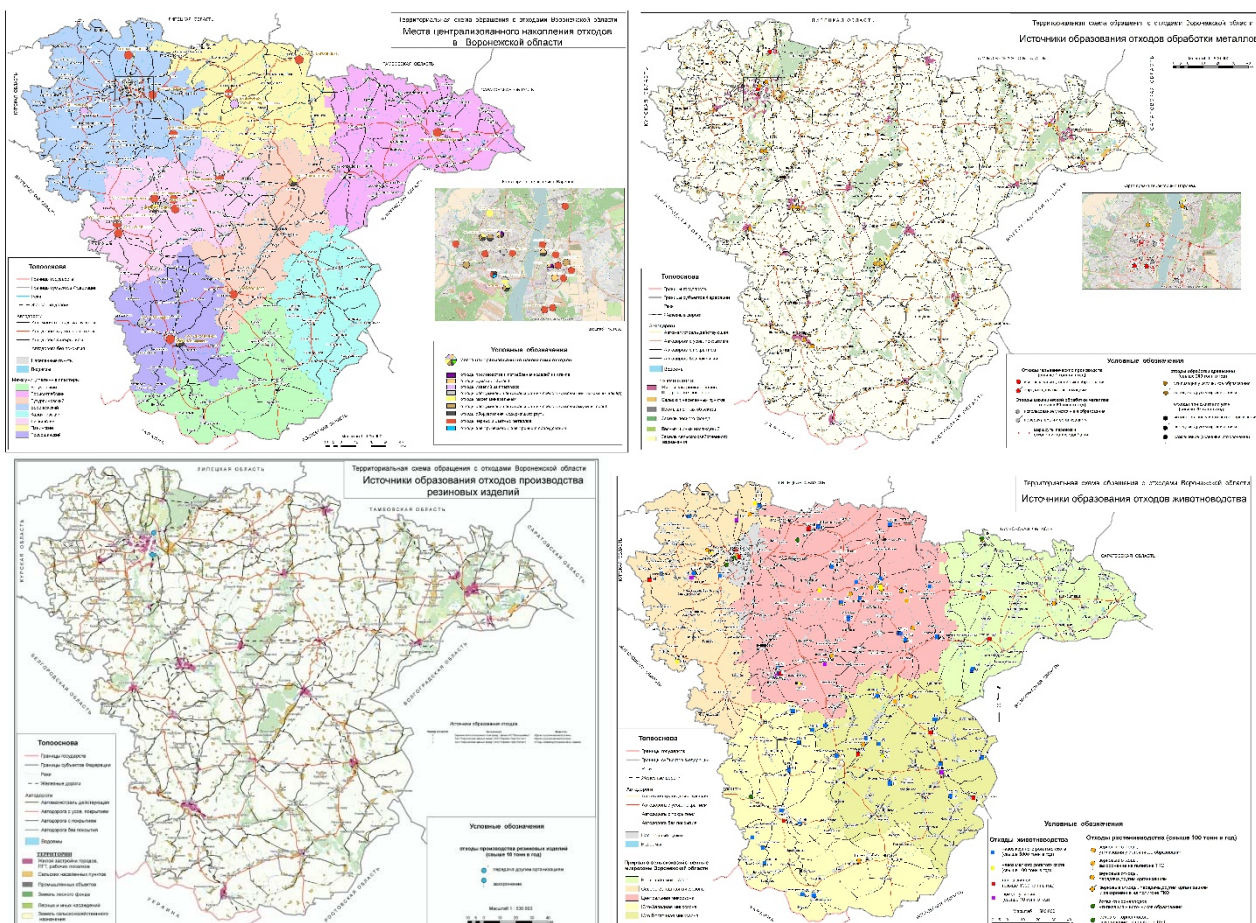


Рис. 4. Уменьшенные копии подготовленных макетов карт

Следующим этапом на основании созданной электронной модели стало оценка экологической нагрузки в разрезе муниципальных районов. Для этого, информация о количестве образующегося отхода, его тип, была обработана и представлена на карте в виде круговых диаграмм (рис 5). Цвет сектора круговой диаграммы характеризует вид образующегося отхода, размер сектора – его долю в общем количестве отходов, а размер круговой диаграммы суммарный

объем образующегося отхода, который мы использовали как показатель оценки экологической нагрузки на эту территорию.

Очевидно, что данная оценка не дает полное представление об экологической нагрузке в пределах муниципального образования, а оценивает лишь один фактор. Тем не менее, эту информацию можно в дальнейшем использовать и включать в комплексную оценку.

В результате выполненной работы была создана электронная модель территориальной схемы обращения с отходами, подготовлен необходимый картографический материал и на основе собранной информации оценена степень экологической нагрузки по количеству образования отходов в пределах муниципальных районов.

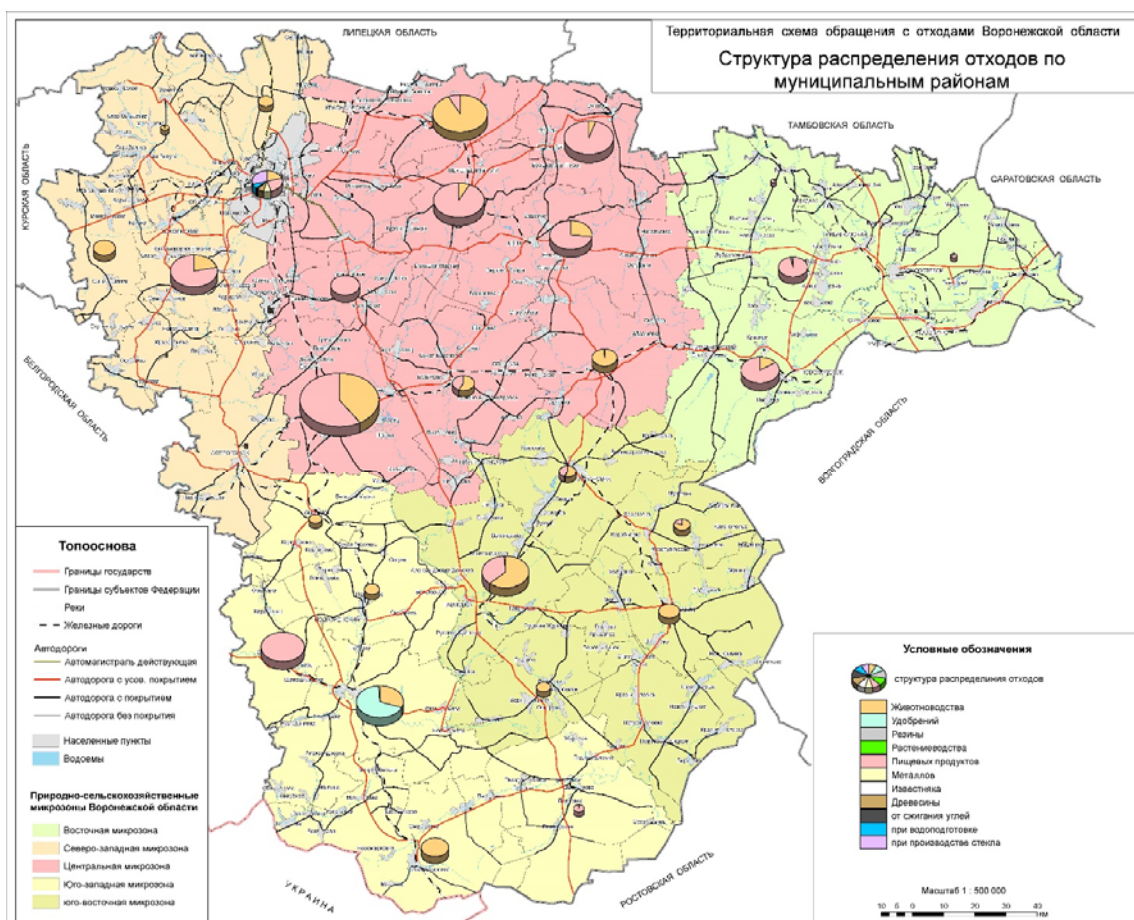


Рис. 5. Схема экологической нагрузки по количеству образующихся отходов в разрезе муниципальных и городских округов

Библиографический список:

1. *Геоинформационное обеспечение экономической оценки природно-ресурсного потенциала территорий Пермского края* / Красильников П.А., Коноплев А.В., Хронусов В.В., Барский М.Г. // Экономика региона. 2009. № 1 (17). С. 143–151.
2. *Картирование территории при проведении геоэкологического мониторинга средствами ГИС* / Лунев Б.С., Красильников П.А., Иларионов С.А., Спасский Б.А., Наумов В.А. // Фундаментальные исследования. 2014. № 11-1. С. 89–93.

3. Коноплёв А.В., Красильников П.А. Методика картографирования территориальных сочетаний природных ресурсов и их комплексная оценка с использованием ГИС (на примере Пермского края) // География и природные ресурсы. 2012. № 1. С. 129–132.
4. Коноплев А.В., Красильников П.А. Районирование территории Пермского края по величине природно-ресурсного потенциала на основе ГИС-технологий / Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. 2009. № 3 (17). С. 150–156.
5. Красильников П.А., Коноплев А.В., Кустов И.В., Красильникова С.А. Геоинформационное обеспечение инженерно-экологических изысканий // Фундаментальные исследования. 2013. № 10-14. С. 3161–3165.
6. Ощепкова А.З., Столбов В.А. Территориальные схемы обращения с отходами в системе стратегического и территориального планирования субъектов Российской Федерации // География и регион. Мат. Междунар. научн. практ. конф. 2015. С. 64–70.
7. Попов Ю.П., Белый А.В. Особенности разработки территориальной схемы обращения с отходами на основе региональной ГИС // Сб. мат. XIV всерос. науч. конф. Вузовская наука. ВГУ. 2016. С. 117–119.

Ю. И. Олянский¹, Е. В. Щекочихина²

Волгоградский государственный технический университет, ¹olyansk@list.ru, ²evg-schek@yandex.ru

ОСОБЕННОСТИ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЙ ДЛЯ ГИДРОТЕХНИЧЕСКОГО СТРОИТЕЛЬСТВА НА ПРОСАДОЧНЫХ РУНТАХ

Главной особенностью проектных работ для строительства в целом и гидротехнического – в частности является их стадийность. Особое значение на всех стадиях проектирования и инженерных изысканий является изучение опыта строительства на просадочных грунтах в регионе. Выявляются все деформации сооружений на лёссовых основаниях, систематизируются и анализируются их причины. Это позволит оценить эффективность противопросадочных мероприятий и выбрать наиболее оптимальный вариант борьбы с просадочностью для конкретных инженерно-геологических условий. Изучение лёссовых толщ грунтов строительной площадки в таком объёме призвано полностью обеспечить проектирование качественной инженерно-геологической информации, необходимой для принятия обоснованных проектных решений.

Ключевые слова: инженерно-геологические изыскания, гидротехнические сооружения, просадочные грунты

Iu. I. Olianskii¹, E. V. Shchekochihina²

Volgograd State Technical University,
¹olyansk@list.ru, ²evg-schek@yandex.ru

FEATURES OF ENGINEERING-GEOLOGICAL SURVEYS FOR DESIGNING OF HYDROTECHNICAL CONSTRUCTION ON SUBSIDING SOILS

The main feature of the design work for construction in general and hydraulic engineering - in particular, is their staging. Of particular importance at all stages of design and engineering surveys is to study the experience of building on subsiding soils in the region. All defor-

mations of structures on loess bases are identified, their causes are systematized and analyzed. This will make it possible to evaluate the effectiveness of anti-settlement measures and select the most optimal variant of dealing with subsidence for specific engineering geological conditions.

The study of loess strata of the construction site in such a volume is intended to fully ensure the design with high-quality engineering and geological information necessary for making informed design decisions.

Key words: engineering and geological surveys, hydraulic structures, subsidence soils

Главной особенностью проектных работ для строительства в целом и гидротехнического – в частности является их стадийность. Инженерно-геологические изыскания выполняются на всех стадиях проектирования, однако, цели и задачи их на различных этапах разные.

Основная цель инженерно-геологических изысканий заключается в обеспечении проектирования необходимой и достаточной информацией об инженерно-геологических условиях территории строительства, эксплуатации и ликвидации зданий и сооружений. Инженерно-геологическая оценка территории включает оценку и прогноз изменения следующих компонентов: физико-географической обстановки (климат, рельеф, орогидрография); геологического строения; гидрогеологических условий; состава, строения и свойств грунтов; физико-геологических процессов и явлений. Состав и объём инженерно-геологических изысканий устанавливаются в соответствии со сложностью инженерно-геологических условий, стадией проектирования и характера проектируемого объекта. Детальность характеристики компонента инженерно-геологических условий находится в зависимости от цели и стадии проектирования. Так для составления проекта городской планировки особое внимание уделяется выявлению и локализации опасных физико-геологических процессов. На стадии рабочих проектов и рабочей документации основное внимание уделяется оценке состава и свойств грунтов массива, определению нормальных условий эксплуатации сооружения, а также прогнозу их изменения.

Инженерно-геологические изыскания – всегда ответственная работа, от полноты и качества которой зависит стоимость проекта, эффективность строительства и безаварийная эксплуатация построенного сооружения, а также последующая его реконструкция и ликвидация. Современное проектирование военных и народнохозяйственных объектов предъявляет высокое требование к своевременности, информативности и достоверности материалов инженерно-геологических изысканий на территориях сложенных лёссовыми просадочными грунтами. Отсутствие таких материалов исключает возможность вариативного проектирования, что приводит к удорожанию проекта и строительства и не даёт должной гарантии надёжной эксплуатации сооружения. Деформация зданий и сооружений на Атоммаше, построенном на лёссовых просадочных грунтах большой мощности, красноречивый пример проектирования и строительства крупного объекта в условиях отсутствия опережающей и достоверной информации об инженерно-геологических условиях территории строительства.

Предпроектными документами для отрасли водного хозяйства, кроме ТЭО, являются схемы комплексного использования и охраны водных и земельных ресурсов по регионам и бассейнам крупных рек; их составляют на 15-летний период и обновляют через каждые 5 лет. В них обосновывают водораспреде-

ние по отраслям народного хозяйства и административным районам, определяют целесообразность и хозяйственную необходимость гидротехнического строительства. Отраслевые схемы отражают перспективы развития разных отраслей народного хозяйства в пределах страны, республики, района.

Для обоснования схем на основе анализа гидрогеологических и инженерно-геологических условий территорий выполняют региональный прогноз их изменения под влиянием водохозяйственного строительства и мелиорации земель, обосновывая выбор первоочередных объектов. На основе аэрокосмических материалов уточняют геолого-структурные, морфогенетические, ландшафтные элементы, почвенный покров, характер геологических процессов и явлений. Оценку инженерно-геологических условий дают с учётом обобщения и схематизации информации, в основном, по результатам ранее проведённых изысканий и аналогов, материалам гидрогеологических и инженерно-геологических съёмок организаций бывшего Министерства геологии СССР и более поздних исследований региона.

Предпроектные работы завершаются ТЭО, где должна быть оценена стоимость строительства объекта и его технико-экономическая эффективность. На основании ТЭО выделяют первую очередь строительства, обосновывают принципиальные технические решения, составляют и выбирают варианты размещения основных гидротехнических сооружений, определяют направление дальнейших инженерно-геологических изысканий, уточняют предварительные прогнозные расчёты. Это требует более глубокого, чем в схемах, учёта природных условий и прогноза их изменений, инженерно-геологической характеристики конкурирующих вариантов. Задачу решают путём проведения специализированных съёмок среднего масштаба и разведочных работ (геофизические, бурение) на основных вариантах размещения сооружений с целью обоснования выбора оптимального.

Инженерно-геологические прогнозы в ТЭО объектов гидротехники и мелиорации отображают на картах районирования масштабов 1:50000 – 1:200000. В зависимости от местных условий, такие карты могут быть дополнены специальными, например, просадочными и др. Просадочность оценивается по результатам работ на опорных участках путем статистической обработки материалов изысканий. При недостаточном количестве прямых определений пространственную изменчивость просадочности оценивают по косвенным признакам.

Проект является основным документом, в котором разрабатывают технические решения и технологические вопросы гидротехнических сооружений, определяют стоимость строительства, составляют проект производства работ. Инженерно-геологическое обоснование должно обеспечить ответ на вопросы, влияющие на проектные и конструктивные решения, а также на уточнение стоимости строительства (в меньшую сторону по сравнению с ТЭО). С этой целью при разработке проекта выполняют основной объем работ и дают количественную оценку инженерно-геологических условий на участках размещения сооружений, по трассам линейных объектов.

Инженерно-геологические прогнозы должны базироваться на результатах различных видов и методов исследований. Среди них особое место занимают геофизические работы, позволяющие экстраполировать данные точечных опре-

делений состояния и свойств грунтов, полученные при съемке. По результатам горно-буровых и опытно-фильтрационных работ устанавливают положение регионального и локальных водоупоров, изучают строение зоны аэрации, водопроницаемость пород в этой и в водонасыщенной зонах. Постоянно растет роль полевых определений физико-механических свойств грунтов путем динамического и статистического зондирования, радиометрическими методами. Расчетные значения показателей состояния и свойств грунтов определяют путем статистического анализа и другими математическими методами с оценкой точности полученных решений (Олянский и др., 2013).

Качество прогноза геологических процессов на стадии проекта повышается при обоснованном привлечении аналогов. Так, для оценки суффозионной устойчивости лёссовых грунтов следует учесть опыт строительства и противо-суффозионных мероприятий, например на Большом Ставропольском канале (Запороженко, 1974).

Просадочность лёссовых пород должна быть изучена с детальностью, обеспечивающей прогноз просадок на площади мелиорации и на участках размещения гидротехнических сооружений и разработку противопросадочных мероприятий. Уточняют мощность просадочного слоя (H_{sl}) и характер изменения просадочности по глубине для всех стратиграфо-генетических типов лёссовых пород в разных геоморфологических условиях. Ввиду структурной неустойчивости и легкой разрушаемости лёссовых пород для установления H_{sl} используют опорные шурфы и дудки, т.к. отбор ненарушенных образцов из скважин пока малоэффективен. Тем не менее, исследования (Олянский, Быкодёров, 2005) по отбору образцов лёссового грунта различными методами позволил сделать вывод, что для лёссовых грунтов Северного Причерноморья (суглинков) отбор образцов может осуществляться задавливаемыми тонкостенными грунтоносами диаметром не менее 146 мм. В этом случае нарушение структуры грунта не происходит вообще, либо оно незначительно (табл. 1).

Таблица 1. Показатели свойств лёссовых пород в зависимости от способа отбора монолитов (в числителе – среднее, в знаменателе – стандартное отклонение, справа – количество определений)

Способ отбора монолитов грунта	Суглинки		Супеси	
	п, %	$\varepsilon_{sl}^{0,3}$	п, %	$\varepsilon_{sl}^{0,3}$
Из шурфа стандартный	$\frac{48,6}{2,1}_{60}$	$\frac{0,047}{0,017}_{34}$	$\frac{42,8}{1,3}_{45}$	$\frac{0,038}{0,015}_{14}$
Из скважины грунтоносами диаметром: 146 мм	$\frac{46,7}{2,8}_{54}$	$\frac{0,044}{0,022}_{17}$	$\frac{41,8}{2,7}_{33}$	$\frac{0,015}{0,009}_{11}$
127 мм	$\frac{46,7}{2,3}_{43}$	$\frac{0,047}{0,007}_{14}$	$\frac{41,9}{3,3}_{36}$	$\frac{0,013}{0,012}_{11}$
108 мм	$\frac{45,7}{2,1}_{22}$	$\frac{0,036}{0,018}_{12}$	$\frac{42,1}{4,4}_{46}$	$\frac{0,010}{0,011}_9$

В слабоизученных районах для проекта с целью проверки лабораторных определений просадочности натурными данными проводят опытное замачивание котлованов.

Геологический контроль на стадии эксплуатации ГТС имеет три основные задачи: 1) наблюдение за состоянием гидротехнических сооружений (плотины,

дамбы, водохранилища, водозаборные узлы, каналы, коллектора, дрена и т.д.), своевременное выявление нарушений или неблагоприятных проявлений в ходе их эксплуатации, участие в выборе профилактических или ремонтных мероприятий; 2) изучение геологических процессов в зоне влияния сооружений (подтопление, переработка берегов, суффозия, оползни, просадки), временной прогноз их развития, рекомендации по предупреждению или торможению; 3) наблюдения за режимом грунтовых вод на мелиоративных землях и проявлениями геологических процессов, краткосрочные прогнозы, рекомендации по охране природной среды.

Главными задачами, которые инженер-геолог решает при выполнении инженерно-геологических изысканий на площадке сложенной лёссовыми грунтами, являются следующие:

1. Изучение мощности и площади распространения лёссовых грунтов. Это достигается проходкой горно-буровых выработок на всю мощность лёссовой толщи (склонной к просадке) независимо от типа, вида и этажности проектируемого сооружения.

2. Определение возможной просадки от собственного веса грунта и мощности просадочной толщи. Вся вскрытая лёссовая толща опробовывается отбором образцов грунта ненарушенного сложения (монолитов). Причём по разрезу должны быть опробованы все литологические виды лёссового грунта. Интервал опробования не должен превышать 1,0 – 2,0 м. Из отобранных монолитов выполняют компрессионные испытания методом «одной кривой» – для определения просадки толщи от собственного веса и «двух кривых» – для изучения величины просадочности при различных давлениях на грунт. В отдельных случаях для определения просадки толщи от собственного веса выполняют замачивание опытных котлованов. Последний метод используется, в основном, при изучении провальнo-просадочных грунтов. Для других он мало эффективен из-за необходимости чрезвычайно длительного проведения опыта (до 1 года). Практически для всех лёссовых пород характерно несовпадение данных о величине относительной просадочности определённой в компрессионных приборах методами «одной» кривой (ε_{sl}^1) и «двух» кривых (ε_{sl}^2). Анализируя причины несовпадения Н.И. Кригер выделил множество из них (Кригер, 1972). Ю.И. Олянский получил следующие значения корректировочных коэффициентов $K = \frac{\varepsilon_{sl}^2}{\varepsilon_{sl}^1}$ для двух литологических типов лёссовых грунтов г. Кишинёва (табл. 2). (Олянский, 1992).

3. Определение начального просадочного давления лёссовых грунтов. Для этой цели используются результаты компрессионных испытаний по методу «двух кривых». Строятся графики зависимости начального просадочного давления от глубины. Одновременно рекомендуется выполнить опытное (полевое) изучение грунтов штампом площадью 5000 см² по схеме «двух кривых». Это позволит определить значение начального просадочного давления в натурных условиях и рассчитывать корректировочные коэффициенты перехода от лабораторных испытаний к натурным. Для вышеуказанных лёссовых грунтов тер-

ритории г. Кишинёва получены следующие значения корректировочного коэффициента, (табл. 3). (Олянский и др., 2018).

Таблица 2. Характеристика коэффициента $K = \frac{\varepsilon_{sl}^2}{\varepsilon_{sl}^1}$

Типы лёссовых пород	Статистические характеристики			
	Среднее	Пределы колебания	Стандартное отклонение	Количество определений
Супеси и легкие суглинки	1,11	0,71-2,33	0,54	143
Средние суглинки	1,20	0,58-2,02	0,63	92

Таблица 3. Значения начального просадочного давления лёссовых пород, определенного лабораторными и полевыми методами

Типы лёссовых пород	Физические характеристики			Начальное Просадочное давление, МПа		Корректировочный коэффициент $K = \frac{P_{sl}^a}{P_{sl}^u}$
	W	J _p	n%	P_{sl}^a	P_{sl}^u	
Супеси и лёгкие суглинки	0,11	0,08	45,6	$\frac{0,08}{77;0,06}$	$\frac{0,09}{10;0,008}$	0,87
Средние и тяжёлые суглинки	0,15	0,12	46,5	$\frac{0,14}{75;0,005}$	$\frac{0,19}{22;0,13}$	0,73

Примечание: а) P_{sl}^a , P_{sl}^u – по результатам компрессионных и штамповых испытаний соответственно; б) в числителе – среднее, в знаменателе – количество определений и стандартное отклонение.

4. При изучении лёссовых оснований особая роль принадлежит оценке величины послепросадочного уплотнения, которая может достигать у некоторых типов лёссовых отложений 100 % и более относительно просадочности определённой по гостированной методике. Такие исследования выполняются в компрессионных приборах в условиях длительной фильтрации воды через образец грунта (не менее 30 суток) (Олянский и др., 2016, 2018). Полученные результаты позволяют откорректировать величину относительной просадочности и начальное просадочное давление, что даст возможность прогнозировать величину просадки сооружений с большей достоверностью.

В таблице 4 приведены результаты определения просадочности образцов лёссовых пород г. Кишинёва, полученные различными методами: по ГОСТ 23161-78 и при условии фильтрации воды через образец. Различия весьма существенные. Авторами предложена методика обработки лабораторных данных по определению величины послепросадочного уплотнения и рекомендован для прогнозирования – метод вероятностных аналогий. (Олянский и др., 2016).

5. Определение начальной просадочной влажности. Такие исследования проводятся в одометрах. Целесообразность их должна быть обусловлена характером проектируемого объекта и режимом его эксплуатации.

Таблица 4. Показатели относительной деформации $\varepsilon_{sl}^{0,25}$ некоторых образцов лёссовых пород в компрессионном приборе при замачивании и фильтрации воды

№ образца	Провальная просадка по ГОСТ 23161-78	Замедленная просадка	Послепросадочная деформация	Общая относительная деформация
178	0,014	0,016	0,015	0,045
314	0,042	0,005	0,037	0,084
315	0,020	0,002	0,016	0,038
316	0,017	0,008	0,021	0,046
274	0,010	0	0,002	0,012
226	0,022	0,004	0,034	0,060
227	0,015	0,018	0,011	0,044

6. Определение прочностных характеристик лёссового просадочного грунта. К прочностным характеристикам относятся: удельное сцепление и угол внутреннего трения. Эти данные получают методом испытаний грунтов на срез в сдвиговых приборах. Испытание образцов грунта выполняется после их водонасыщения в одометре без возможности набухания при вертикальных нагрузках: 0,05 – 0,15 (МПа). Для обеспечения проектировщиков данными при проектировании противоопасочных мероприятий определяют прочность образцов грунта уплотнённых до $\rho_d - 1,65$ г/см³. Испытания проводятся по методу неконсолидированного среза при вертикальных нагрузках 0,1 – 0,2 – 0,3 МПа.

7. Определение модуля деформации. Изучение сжимаемости осуществляется по результатам компрессионных испытаний – графикам зависимости деформации от нагрузки. Для расчётов используют прямолинейные участки графиков в интервале нагрузок 0,1 – 0,2 (МПа). Кроме этого, модуль деформации рассчитывается по данным статических нагрузок на штамп площадью 5000 см² в шурфах. Это дает возможность получить корректировочные коэффициенты для перехода от компрессионных испытаний к натурным опытам.

8. Определение оптимальной влажности уплотнения лёссового грунта. Эти данные используются при проектировании уплотнения лёссовых грунтов различными методами. Рассчитывается оптимальная влажность по результатам специальных лабораторных опытов.

9. Характеристика участка по потенциальной подтопляемости. Эти сведения являются чрезвычайно важными. Они призваны дать прогноз изменения уровня подземных вод на участке после строительства в процессе эксплуатации территории и объекта. В зависимости от прогнозируемого изменения уровня подземных вод выбираются противоопасочные мероприятия, мероприятия по устройству гидроизоляции подземных частей здания, а также определяется категория грунтов по сейсмическим свойствам (в сейсмических районах). (Олянский и др., 2011, 2013).

10. При разработке мероприятий по технической мелиорации лёссовых грунтов (улучшению их свойств) по специальному заданию могут выполняться следующие исследования: определение гранулометрического и микроагрегатного состава лёссового грунта, изучение химического состава водных вытяжек,

определение ёмкости поглощения и состава обменных катионов, минеральный состав (по фракциям), определение коэффициента фильтрации (в вертикальном и горизонтальном направлениях) и др.

11. Изучение опыта строительства на просадочных грунтах в регионе. Основной проблемой для изыскателей, занимающихся изучением лёссовых грунтов для целей строительства и особенно – гидротехнического строительства, является наличие в настоящее время в арсенале изыскательской организации большого количества различных методов и методик оценки просадочных свойств грунтов будущего основания инженерного сооружения. Результаты, полученные разными методами, очень часто плохо коррелируют между собой, а иногда и вообще являются противоречивыми. Поэтому определение основных характеристик лёссовой толщи: начального просадочного давления, просадки от собственного веса, а следовательно – типа грунтовых условий по просадочности часто бывают весьма сложной задачей.

Достаточно проанализировать данные по величине относительной просадочности $\varepsilon_{sl}^{0,25}$ лёссовых пород территории г. Кишинёва (табл.5), полученные разными методами, чтобы оценить глубину проблемы (Олянский и др., 2016).

Таблица 5. Сравнительная характеристика величины $\varepsilon_{sl}^{0,25}$ по данным различных методов исследований

Метод определения показателя	Участок 1 мкр-н Боюкань	Участок 2 мкр-н Будешть
	Супеси и лёгкие суглинки	Средние и тяжёлые суглинки
Компрессионные испытания по схеме «двух» кривых	0,015	0,011
Компрессионные испытания по схеме «одной» кривой	0,012	0,005
Нагрузка на стандартный штамп площадью 5000 см ²	0.007	0,004
Замачивание котлована по стандартной методике	0,002	0
Замачивание котлована по ускоренной методике	0,003	0,004

В связи с этими, особое значение на всех стадиях проектирования и инженерных изысканий является изучение опыта строительства на просадочных грунтах в регионе. Выявляются все деформации сооружений на лёссовых основаниях, систематизируются и анализируются их причины. Это позволит оценить эффективность противопросадочных мероприятий и выбрать наиболее оптимальный вариант борьбы с просадочностью для конкретных инженерно-геологических условий.

Изучение лёссовых толщ грунтов строительной площадки в таком объёме призвано полностью обеспечить проектирование качественной инженерно-геологической информацией, необходимой для принятия обоснованных проектных решений.

Библиографический список:

1. Олянский Ю.И., Богомолов А.Н., Чарыкова С.А., Кузьменко И.Ю. Геоэкологические проблемы гидромелиорации территории южной Молдавии. // Научный потенциал регионов на службу модернизации. 2013. №2(5). С. 46–49.
2. Запорожченко Э.М. Инженерно-геологический опыт проектирования, строительства и эксплуатации первой очереди Большого ставропольского канала. Ставрополь. 1974, 60 с.
3. Олянский Ю.И., Махова С.И., Тихонова Т.М., Киселева О.В. Задачи инженерно-геологических изысканий при проектировании оснований и фундаментов на просадочных грунтах/ Сборник: Надежность и долговечность строительных материалов, конструкций и оснований фундаментов. Материалы VI Международной научно-технической конференции. 2011. С. 245–248.
4. Кригер Н.И. Состояние вопроса об оценке просадочных свойств лёссовых грунтов: Обзор. ПНИИИС, М. 1972. 61 с.
5. Олянский Ю.И. Лёссовые грунты юго-западного Причерноморья (в пределах республики Молдова) Кишинёв : Штиинца, 1992. 130 с.
6. Олянский Ю.И., Быкодёров М.В. Исследования влияния диаметров задавливаемых грунтоносом на нарушение структуры лёссового грунта. Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия 6: Строительство и архитектура. 2005, № 4. С. 81–85.
7. Олянский Ю.И., Щекочихина Е.В., Калиновский С.Ю. Особенности борьбы с просадочностью лёссовых оснований в Молдавии/ В сборнике: Механика грунтов в геотехнике и фундаментостроении. Материалы международной конференции. 2018. С. 356–363.
8. Олянский Ю.И., Богомолов А.Н., Щекочихина Е.В., Тихонова Т.М., Кузьменко И.Ю. Особенности изменения состава и свойств лёссовых грунтов при длительном взаимодействии с водой вследствие техногенеза (на примере междуречья Прута и Днестра) / Инженерные изыскания. 2016. №14. С. 24–34.
9. Олянский Ю.И., Степанова Е.А. Оценка просадочности субэразанльных лёссовых пород центральной Молдавии различными полевыми и лабораторными методами / В сборнике: Механика грунтов геотехнике и фундаментостроении. Материалы международной конференции. Новочеркасск. 2018. С. 440–448.
10. Олянский Ю.И., Богомолов А.Н., Щекочихина Е.В., Чарыков Д.В., Кузьменко И.Ю. Прогноз величины послепросадочного уплотнения лёссовых пород при инженерно-геологических изысканиях / В сборнике: Перспективы развития инженерных изысканий в строительстве в Российской Федерации. Материалы XII общероссийской конференции изыскательских организаций. 2016. С. 34–38.
11. Олянский Ю.И., Щекочихина Е.В., Осипова О.Н., Скибин Г.М., Алексеев А.Ф. Просадочность лёссовых грунтов юга русской платформы как зональное географическое явление. / Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: технические науки. 2015. № 2(183). С. 77–81.

ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

В настоящее время во многих странах заметна тенденция к интенсивному развитию горнопромышленного производства, что связано с ростом потребности в минеральном сырье, расширением географии его использования и вовлечением в производственных видов сырья. Частицы пыли из отвалов, хвостов и при буровзрывных работах попадают в атмосферу. На примере города с неблагоприятной экологической ситуацией Закаменск рассмотрено влияние добычи и обогащения руд цветных металлов в горнопромышленных центрах. Анализ почвенно-геохимических данных для районов рудных месторождений свидетельствует о том, что их отходы и выбросы приносят в биосферу определенный набор токсичных химических элементов, формируя обширные ареалы загрязнения. Концентрации токсических химических веществ в депонирующих средах ГПЛ превышают общемировые кларки в сотни и тысячи раз, состав поллютантов определяется рудными и сопутствующими элементами.

Ключевые слова: W-Mo руды, техногенные ландшафты, экогеохимия.

A.D. Larionova

Lomonosov Moscow State University,
larionovaad.msu@gmail.com

ECOLOGO-GEOCHEMICAL PROBLEMS OF ORE DEPOSITS

Currently, in many countries there is a tendency to the intensive development of the mining industry, which is associated with the growing demand for mineral raw materials, the expansion of the geography of its use and involvement in the production of raw materials. Dust particles from the dumps, tailings and drilling and blasting operations fall into the atmosphere. Zakamensk examined the impact of mining and enrichment of non-ferrous ore metals in the mining and industrial center. Analysis of soil and geochemical data for areas of ore deposits suggests that their waste and emissions are introduced into the bio-specific set of toxic chemical elements that form extensive areas of exposure. The concentrations of toxic chemicals in GLP environments exceed the general norms in hundreds and thousands of units, the composition of which is determined by the ore and related relevant elements.

Key words: W-Mo deposit, technogenic landscape, ecogeochemical research.

Горнодобывающая промышленность оказывает большое влияние на трансформацию ландшафтов. В современных условиях добыча минерального сырья является одним из основных ресурсов прогресса. В связи с этим, за последние годы потребление минерального сырья увеличивается более высокими темпами по сравнению с началом XX века. В настоящее время используют более 150 видов минерального сырья, добываются миллиарды тонн первичных энергоносителей, строительных материалов, миллионы тонн минеральных удобрений, металлического и неметаллического сырья.

Наибольшее влияние на трансформацию ландшафтов оказывает открытая добыча, которая сопровождается созданием значительных по размерам форм техногенного рельефа. В бывшем СССР доля открытой добычи угля в карьерах достигала 70-80 % (Янин, 1993). В настоящее время добыча угля составляет только 65 %. К 2020 году планируется увеличить его долю до 75 % (Грунь, Климиник, 2007). В России площадь нарушенных земель при разработке полезных ископаемых составляет 2 млн. га, из которых 65 % приходится на европейскую часть страны. Только в Кузбассе угольными карьерами занято более 30 тыс. га, в районе КМА – более 25 тыс. га (Вронский, 1996).

В настоящее время заметна тенденция к интенсивному развитию горнопромышленного производства, что связано с ростом потребности в минеральном сырье, расширением географии его использования и вовлечением новых видов сырья. При активной добыче полезных ископаемых происходит истощение богатых месторождений. Соответственно увеличивается добыча более бедных руд, что приводит к большему расходу сырья, воды, энергии и увеличению объемов отходов. Как следствие, увеличивается техногенная нагрузка на окружающую среду в горнопромышленных центрах.

В результате техногенеза формируются горнопромышленные ландшафты (ГПЛ). Техногенная трансформация ландшафтов сопровождается их загрязнением, которое выходит за пределы самих горнопромышленных центров и имеет региональный характер (рис. 1).

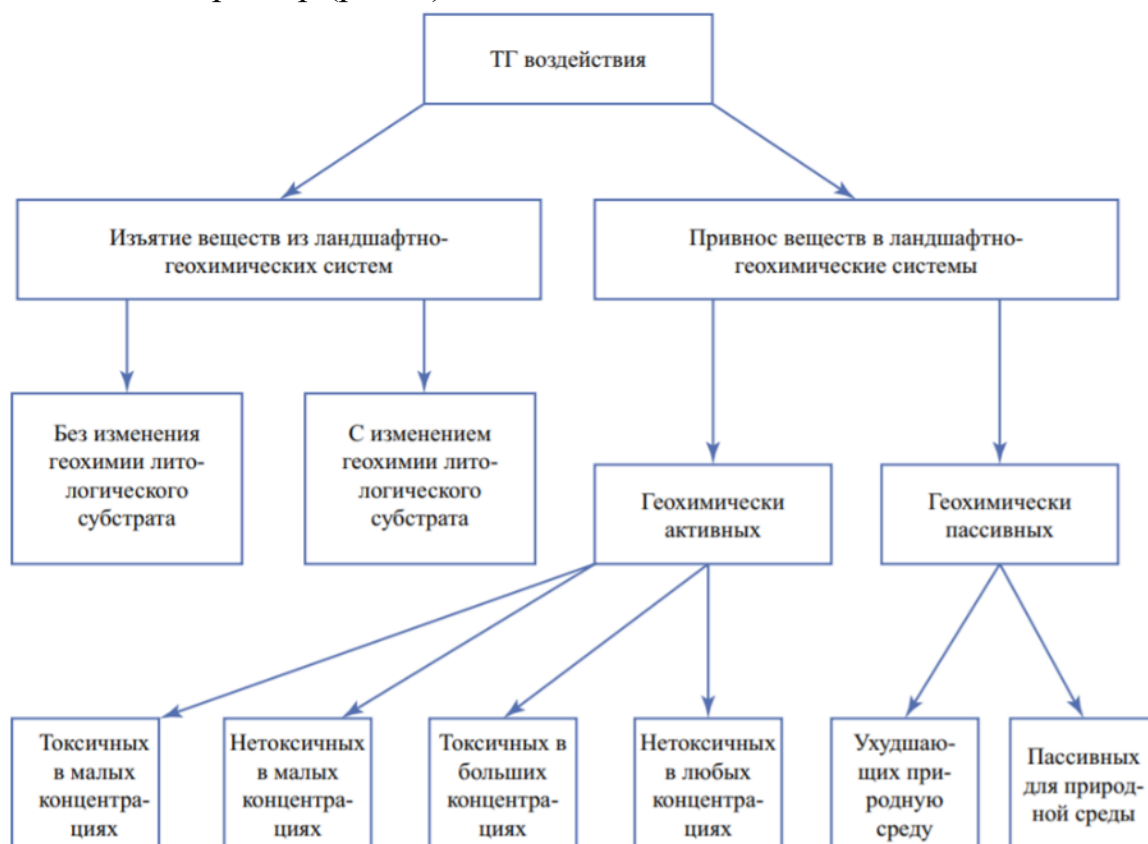


Рис. 1. Классификация техногенных воздействий (Солнцева, 1982)

Воздействия горной промышленности на ландшафты заключается в изменении литогенной основы и преобразование рельефа при извлечении из недр

больших количеств металлических руд, содержащих токсичные элементы. В результате изменяются направленность и интенсивность миграции веществ в ландшафтах. Применение технологий открытой и подземной добычи предполагает в результате технологического цикла образование больших масс вскрышных пород, которые складировуют в отвалы, и отходов обогащения, складировуемых в хвостах. Частицы пыли из отвалов, хвостов и при буровзрывных работах попадают в атмосферу. Более экологически безопасным способом добычи является метод выщелачивания (рис. 2).



Рис. 2 Технология добычи руд цветных металлов (составлено автором)

На примере города с неблагоприятной экологической ситуацией – Закаменск рассмотрено влияние добычи и обогащения вольфрамово-молибденовых руд. Республика Бурятия богата вольфрамовыми рудами. Запасы составляют 27 % от общероссийских, добыча – 15 % от всех разведанных запасов в России (Ходанович, Яценко, Смирнова, 2002). Джидинский вольфрамово-молибденовый комбинат был создан в 1934 г. на базе Джидинского рудного узла, объединяющего Первомайское молибденовое месторождение и вольфрамовые месторождения Холтосон и Инкур. В 2007 г. комбинат был закрыт из-за нерентабельности. За годы работы на площади 12 км² образовалось 44,5 млн т отходов, складированных в Джидинском (насыпном), Барун-Нарынском (гидроотвале) и аварийном хвостохранилищах. С 2010 г. ЗАО «Закаменск» начало доизвлечение W из Джидинского и Барун-Нарынского хвостохранилищ, складировав отходы в новом Зун-Нарынском (рис. 3).

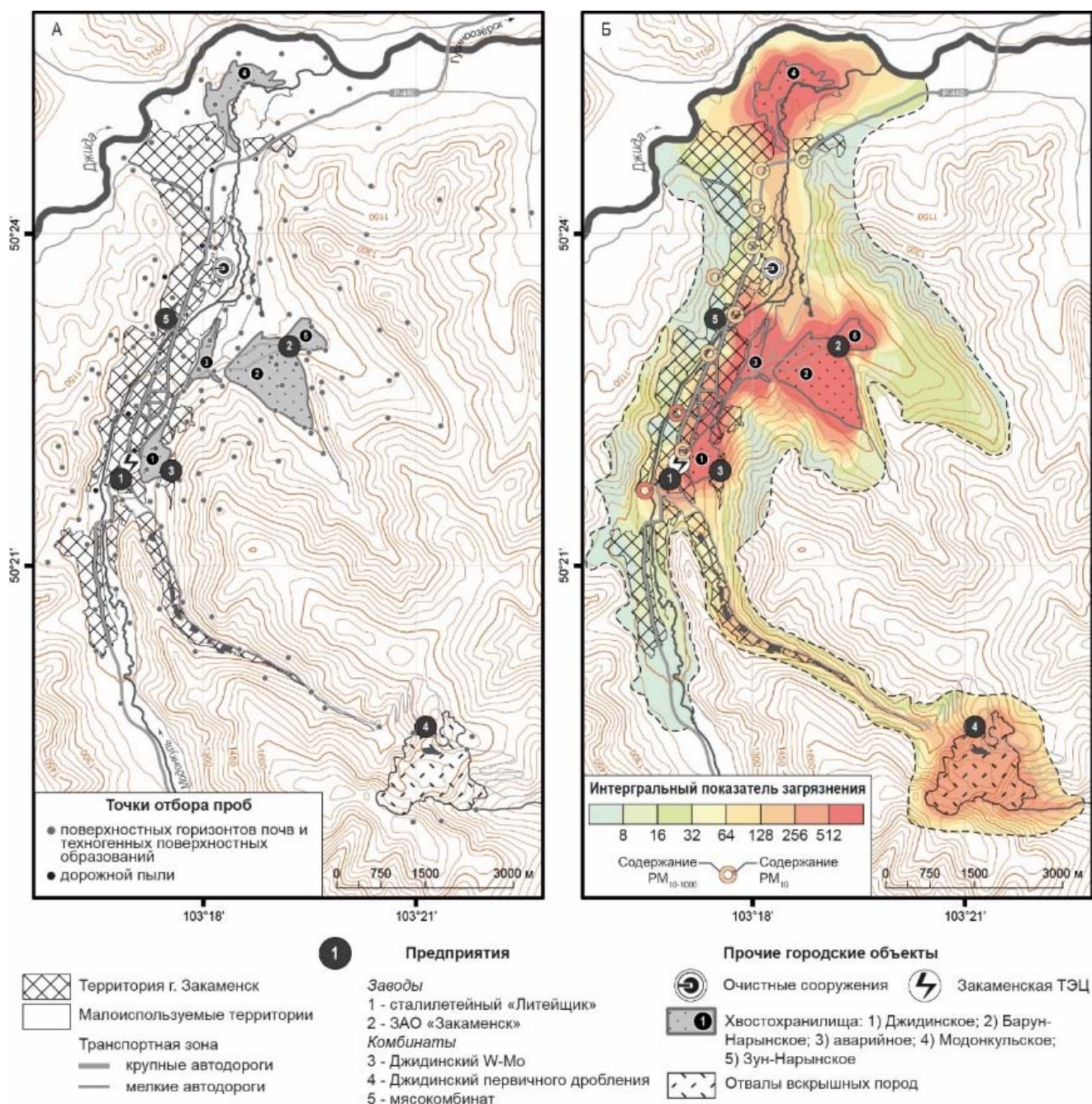


Рис. 3. Карта фактического материала (А) и распределение интегрального показателя загрязнения ИПЗ в почвах и дорожной пыли (Б) г. Закаменска. (Тимофеев, Рыжов, 2018)

На стадии обогащения происходит дробление частиц до размера 0,07 мм и извлечение полезного компонента методом флотации с использованием токсичных реагентов – керосина, серной кислоты, ксантогената, соснового масла, жидкого стекла и др. – складировается в хвостохранилища. В них установлено повышенное содержание этих элементов, а также Sb. Различия в геохимической специализации поверхностных горизонтов городских почв и отложений в местах складирования отходов незначительны (рис. 4) (Тимофеев, Рыжов, 2018).

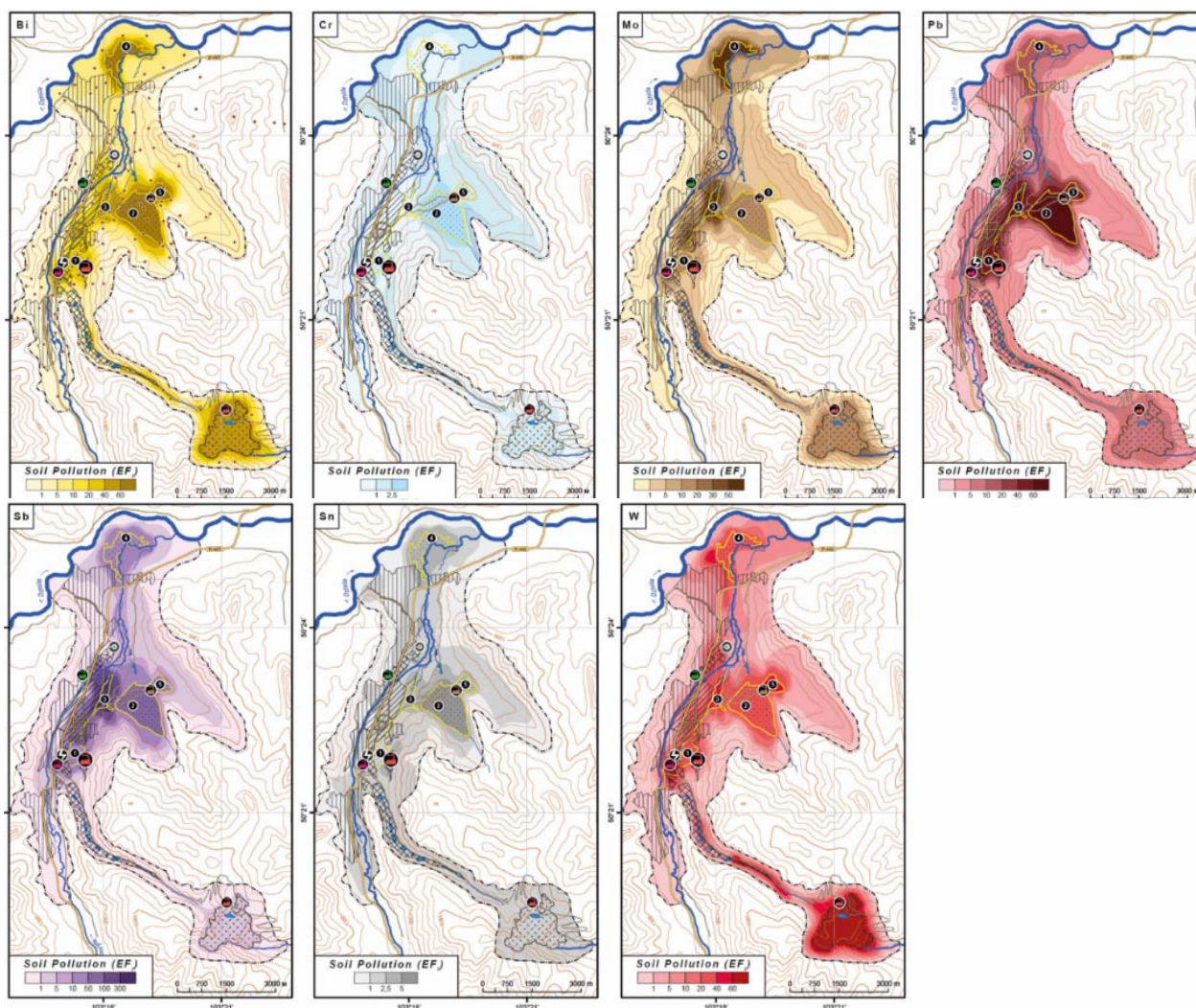


Рис. 4. Распределение W, Bi, Sb, Mo, Pb, Sn, Cr в поверхностном (0-10 см) горизонте городских и техногенных почв Закаменска (Timofeev, Kosheleva, Kasimov, 2018). Хвостохранилища: 1) Джидинское, 2) Барун–Нарынское, 3) аварийное, 4) Модонкульское, и 5) Зун-Нарынское

Основными источниками загрязнения ландшафтов являются хвостохранилища. Под влиянием водной и ветровой эрозии происходит миграция мелких частиц, подкисление почв и увеличение содержания токсичных химических веществ. Преобладающими химическими компонентами в рудах являются W и Mo, превышающие кларки в сотни и тысячи раз, и сопутствующие элементы – As, Zn, Bi, Cd, Cu, Pb, Sb, Sn (табл. 1). Материал хвостохранилищ состоит из обломков полевого шпата с примесью слюд, фрагментов амфибола, эпидота, флюорита, сульфида, шеелита и берилловых зерен (Timofeev, Kosheleva, Kasimov, 2018).

Таблица 1. Кларки концентрации тяжелых металлов в рудах г. Закаменска (Тимофеев, Рыжов, 2018)

	Cu	Zn	As	W	Pb	Bi
Глобальный кларк	27	75	5,6	2,03	17	0,23
Первомайское	8,9	5,1	909-1364	120	23,5	–
Холтосонское и Инкурское	11-1700*	5,3-51	–	541-2704	12-329	130-435

Концентрации тяжелых металлов в дорожной пыли намного меньше, чем в отложениях хвостохранилищ. Наибольшие концентрации - W ($KK > 20$), Bi и Cd ($KK = 10-20$), повышено содержание Mo, Sb, Pb ($KK = 2-10$). Геохимический спектр тяжелых металлов показывает, что наибольшее воздействие на состав дорожной пыли оказывает Барун-Нарынское хвостохранилище (рис. 5). Содержание всех элементов уменьшается при увеличении размера частиц. Наибольшие концентрации Cd, Bi, W, Mo, Sb приурочены к фракциям PM_{10} , вероятно из-за поступления обогащенных ими частиц при ветровой эрозии и последующем эоловом переносе материала хвостохранилищ. (Тимофеев, Рыжов, 2018).

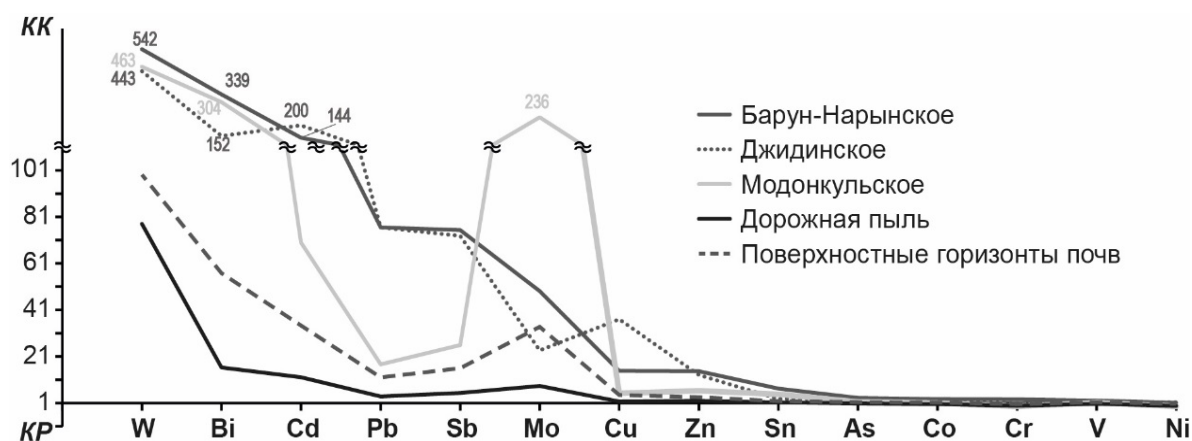


Рис. 5. Геохимические спектры хвостохранилищ, дорожной пыли и почв г. Закаменск (Тимофеев, Рыжов, 2018).

Окисление сульфидных минералов рудного поля с образованием серной кислоты и выносом опасных для окружающей среды химических элементов из отвалов шахтными, карьерными и инфильтрационными водами приводит к загрязнению водоемов.

В районе складирования новых отходов заметны активные эрозионные процессы, приводящие к образованию оврагов, по которым токсичные вещества поступают из хвостов в городские районы. Потоки химических веществ из хвостохранилищ направлены в восточную часть Закаменска, где расположены жилые районы.

Вблизи хвостохранилищ концентрации Sb в почве в 356 раз превышает фоновые показатели, Cd – в 70 раз, Mo, Bi, Cu, W – 45-55 раз, Pb и As – 34-37 раз, Zn и Sn – 6-12 раз (Timofeev, Kosheleva, Kasimov, 2018).

Анализ почвенно-геохимических данных для района добычи вольфрамово-молибденовых руд свидетельствует о том, что их отходы и выбросы приносят в биосферу определенный набор токсичных химических элементов, формируя обширные ареалы загрязнения. Возникают большие площади земель, непригодные для дальнейшего использования. Специфика добычи и обогащения цветных металлов заключается в извлечении и переработке огромных масс горных пород. Полезного компонента в них несколько процентов, все остальное накапливается в отвалах и хвостохранилищах. Показано, что главным источни-

ком загрязнения ландшафтов являются хвостохранилища. Путем водной и ветровой эрозии происходит миграция мелких частиц, подкисление и увеличение содержания токсичных химических веществ в почвах. Концентрации токсичных химических веществ в депонирующих средах ГПЛ превышают фоновые показатели и общемировые кларки в сотни и тысячи раз, состав поллютантов определяется рудными и сопутствующими элементами.

Библиографический список:

1. Вронский В.А. Прикладная экология. Ростов-на-Дону: Феникс. 1996. 512 с.
2. Грунь В.Д., Килимник В.Г. Развитие открытого способа добычи угля в России // Горная промышленность. 2007. № 5. С. 18–19.
3. Солнцева Н.П. Геохимическая устойчивость природных систем к техногенезу (Принципы и методы изучения. Критерии прогноза) / Добыча полезных ископаемых и геохимия природных экосистем. М.: Наука, 1982. С. 181–216.
4. Тимофеев И.В., Рыжов А.В. Тяжелые металлы и металлоиды в системе «хвостохранилище-дорожная пыль-почва» в зоне влияния Джидинского W-Mo комбината (Республика Бурятия) // Вопросы естествознания, т. 4, № 18. 2018. С. 86–93.
5. Ходанович П.Ю., Яценко Р.И., Смирнова О.К. Экологическая обстановка г. Закаменска // Бурятия: природные ресурсы. Улан-Удэ: Изд-во БГУ. 2002. 52 с.
6. Янин Е.П. Экологическая геохимия горнопромышленных территорий. М.: изд-во Геоинформмарк, 1993. 50 с.
7. Timofeev I., Kosheleva N., Kasimov N. Contamination of soil by potentially toxic elements in the impact zone of tungsten molybdenum ore mine in the Baikal region: A survey and risk assessment // Science of the Total Environment, 2018, vol. 642, p. 63–76.

¹Д.М. Димухаметов, ²Ж.Ю. Волошина

¹ПГНИУ, dimukhametov@nedra.perm.ru

²«КамНИИКИГС», ponomarewa.zhanna2015@yandex.ru

ПРОГНОЗ И МОДЕЛИРОВАНИЕ СУФФОЗИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В ПЕСЧАНЫХ ГРУНТАХ

Суффозия является одним из наименее изученных опасных геологических процессов. В настоящее время под влиянием техногенеза, в частности из-за аварийного состояния городских коммуникаций и коллекторов, произошло повышение интенсивности инфильтрации воды в грунт и его влажности, что неизбежно ведет к снижению прочности грунта и образованию суффозионных деформаций в толщах грунтов и на поверхности. Для исследования закономерностей суффозии необходимо отчетливо представлять, в силу каких причин и при каких обстоятельствах возникают и развиваются суффозионные процессы. Поэтому, методически базировались на экспериментальных исследованиях, проводившихся главным образом в лаборатории, в ходе которых удавалось воспроизвести с помощью специального вертикального стенда протекание суффозионного процесса и отмечать основные особенности его развития.

В статье рассматриваются результаты физического лабораторного моделирования суффозии при вертикальной фильтрации для однородной и двухслойной сред с целью изучения динамики формирования деформаций, количественной оценки времени образования провалов, весовых и объемных характеристик. Описаны этапы протекания суф-

фозионного процесса в ходе проведения опытов. Показаны зависимости относительной деформации от времени и объема выноса от времени. Составлен ориентировочный прогноз провалообразования для однородного грунта разной мощности и рассчитаны такие показатели как: объем воронки и верхний диаметр воронки, объем вынесенного грунта, критическое значение объема выноса и примерное время образования провала.

Ключевые слова: суффозия; фильтрационное разрушение грунтов; подземная эрозия; вертикальная фильтрация; объем выноса; деформация на поверхности; время образования воронки.

¹D.M. Dimukhametov, ²Zh.Iu.Voloshina

¹Perm State University, dimukhametov@nedra.perm.ru

²«KamNIIKIGS», ponomarewa.zhanna2015@yandex.ru)

FORECAST AND MODELLING OF SUFFUSION PROCESSES IN SANDY SOILS

Suffosia is one of the least studied hazardous geological processes. Currently, under the influence of technogenesis, in particular due to the emergency state of urban utilities and reservoirs, there has been an increase in the intensity of in-filtration of water into the soil and its moisture, which inevitably leads to a decrease in the strength of the soil and the formation of suffusion deformations in the soil strata and on surface.

To study the patterns of suffusion, it is necessary to clearly understand the reasons and under what circumstances suffusion processes arise and develop. Therefore, they were methodologically based on experimental studies conducted mainly in the laboratory, during which it was possible to reproduce the course of the suffusion process with the help of a special vertical stand and to note the main features of its development.

The article discusses the results of physical laboratory modeling of suffusion with vertical filtration for homogeneous and two-layer media in order to study the dynamics of the formation of deformations, quantify the time of formation of dips, weight and volume characteristics. The stages of the flow of the suffusion process in the course of the experiments are described. The dependences of the relative deformation on the time and volume of removal on time are shown. An approximate forecast of failure formation was compiled for homogeneous soil of different thickness and calculated such indicators as the volume of the crater and the upper diameter of the crater, the volume of the excavated soil, the critical value of the volume of out-flow and the approximate time of the formation of the dip.

Key words: suffusion; filtration destruction of soils; underground erosion; vertical filtering; the amount of removal; deformation on the surface; time of formation of the funnel.

Введение

Суффозия на территориях городов носит ярко выраженный природно-техногенный характер.

Суффозия на территории городов относятся к обширной группе природно-техногенных геологических процессов. Они негативно воздействуют на условия жизнедеятельности человека через деформацию и осложнение эксплуатации инженерных сооружений, снижают качества ресурса геологического пространства (Тер-Мартиросян, 2010).

Следует уточнить, что собственно механическая суффозия – это размыв грунта фильтрационным потоком, проявляющийся в виде отрыва и перемещения отдельных его частиц и целых агрегатов внутри пор (Потапов, 2012).

Суффозионные процессы в грунтах не территории городов являются весьма типичными. Причиной тому может быть несколько факторов. Одним из них является обилие подземных пустот, разуплотненных зон, связанных с инженерными сооружениями различного назначения. Другим фактором является распространение техногенных грунтов, представленных, как правило, песчано-гравийными смесями, которые используются для планировки территорий, засыпки котлованов коммуникаций. Не менее важным фактором активизации и развития процесса являются нарушение гидрогеологических условий, обусловленных аварийным состоянием объектов инфраструктуры или грубыми ошибками в производстве строительных работ (Хоменко, 2010).

Поверхностные формы, связанные с механическим выносом грунтов, являются типичными для городских агломераций уже многие десятилетия. Суффозионные деформации образуются на тротуарах, проезжих частях улиц, в основании зданий и сооружений. Во всех случаях они тесно пространственно связаны с положением подземных коммуникаций и других инженерных сооружений.



Рис.1. Провал в г. Пермь, ул. Ленина
(фото: <https://progorod59.ru/news/14512>)



Рис.2. Провал в г. Пермь, ул. Мира
(фото: <https://progorod59.ru/auto/9971>)



Рис.3. Провал в г. Пермь, Комсомольский проспект
(фото: <https://vikiperm.com/news/280-/>)

Одним из методов наглядного изучения механизма суффозионного выноса, его количественной оценки и морфометрических характеристик провалов слу-

жит физическое моделирование. Эксперименты, проводимые в лаборатории для определения суффозионной устойчивости грунтов, следует рассматривать, прежде всего, как имитационные, поскольку в этих экспериментах фрагментарно воспроизводятся условия взаимодействия фильтрационного потока с грунтом конкретного сооружения или его основания. Только таким путем могут быть получены феноменологические зависимости, отражающие характерные закономерности суффозионного разрушения грунта (Рекомендации по методике лабораторных испытаний..., 1983). Стоит отметить, что лабораторное физическое моделирование суффозии тем объективнее, чем с большей степенью достоверности воссозданы нагрузки, воздействия, условия развития процесса – все это представляет определенные трудности для сложных природно-технических систем (Димухаметов, 2015).

Существенная особенность методов прогнозирования геологических процессов, основанных на их лабораторном физическом моделировании, заключается в том, что эти методы требуют для своей реализации специальных технических средств, рассчитанных на решение конкретных задач.

Материалы и методы исследования

Одним из методов физического моделирования можно считать опытные стенды различных конфигураций. Опыт использования данных подходов достаточно полно описан в работах В.П. Хоменко и других авторов (Хоменко, 2006).

Для проведения опытов изучения суффозии в фильтрационном лотке при вертикальной нисходящей фильтрации использовался объемный стенд, включающий в себя рабочую камеру с подвижными заглушками для создания отверстий разного сечения, перфорированный поддон для равномерной подачи воды, трубчатые пьезометры и грунтоприемники. Лоток позволяет проведение опытов, как для вертикальной безнапорной фильтрации, так и для фильтрации в горизонтальном направлении (в том числе напорной).

Несвязные дисперсные породы изотропны в отношении водопроницаемости, для их фильтрационного разрушения не характерно самозатухание, а для развития в таких грунтах подземной эрозии не требуется наличие первоначальных сквозных каналов на контакте с практически неразмываемыми естественными горными породами или искусственными материалами. В связи с этим, в качестве опытного грунта использовались карьерные мелкозернистые пески со средним углом естественного откоса в естественном состоянии 33^0 и под водой 27^0 , плотностью после послойного уплотнения от 1,85 до 2,02 г/см³ и средним коэффициентом неоднородности $K_n=2,7$.

Наблюдения проводились для грунтов различной мощности от 35 до 80 см и сечений предполагаемого дефекта от 4,0 до 12 см². Для количественно оценки процесса использовались показатели объема выноса пульпы и грунта, их вес, относительная деформация поверхности за единицу времени, критический объем выноса грунта. Последний показатель отражает начало поверхностных деформаций и зависит от сечения дефекта, мощности, состава и состояния иссле-

дуемой толщи грунтов. Пробы пульпы в процессе опытов отбиралась через равные промежутки времени для последующего определения объемных и весовых характеристик грунта. Параллельно проводились наблюдения за изменением относительных деформаций на поверхности и пьезометрическим уровнем в лотке. Для каждой фазы процесса фиксировались и описывались морфометрические характеристики закрытых полостей и провалов.

Результаты и обсуждение

Процесс суффозионного разрушения несвязных пород над полостью-приемником, вызванный поступлением в них воды, можно разделить на четыре этапа: первичное водонасыщение грунта, разжижение, фильтрационный вынос и разуплотнение грунта с формированием локальных подземных полостей, денудационное разрушение с формированием провала на поверхности.

Суффозионный процесс в толще песка начинался с разжижения несвязных пород, формирования «псевдоплывуна» и первичных полостей в форме перевернутого конуса, меняющего конфигурацию по мере проведения опыта.

Рост псевдоплывунной зоны в вертикальном направлении прекращается, когда ее верхняя точка достигает подошвы слабопроницаемого слоя или свободной поверхности грунтовых вод, после чего она растет только вширь и приобретает форму обращенного вершиной вниз параболоида. Над ней происходит прогиб или постепенное дискретное обрушение вышележащих пород, вплоть до выхода этих постсуффозионных процессов на земную поверхность (Хоменко, 2006).

По мере развития процесса первоначальное частичное фильтрационное разрушение грунтов переходит в фазу подземной эрозии. Разрушение несвязных пород протекало в виде циклического процесса формирования сменяющих друг друга заполненных и не заполненных водой полостей. Образование небольших эллипсовидных полостей происходило обычно на глубине 10-25 см. Размеры полостей для сечения 4 см^2 составляли примерно 2×3 см, для сечения 8 см^2 – 2×4 см, для 12 см^2 – 3×4 см.



Рис. 4. Этапы формирования подземных полостей

Фронт суффозионного разрушения постепенно продвигался вверх. Следующим этапом было образование одной большой полости со средними размерами для мощности песка 35 см 5х15, для мощности песка 60 см – 10х30 см. Затем происходило проседание верхней толщи (свода-«поршня»), которая выталкивала оставшуюся воду под небольшим напором в имитируемую полость и в результате на поверхности формировалась воронка. Начало образования первичных закрытых полостей в грунте зависит от мощности грунта, сечения предполагаемого дефекта и колеблется 2,5 минут до 7,0 м. Полный цикл образования провала при различных мощностях грунта (от 35 до 80 см) и сечения дефектов в среднем составляет от 6,0 до 25 мин.

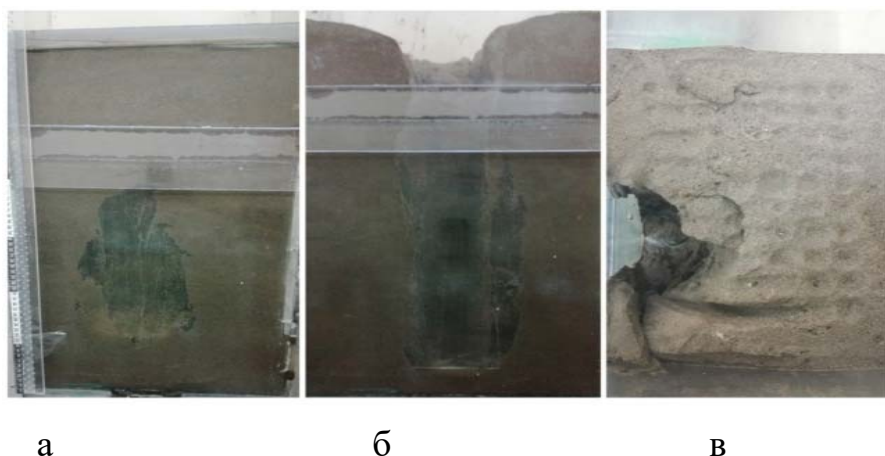


Рис. 5. Этапы формирования воронки: а – подземная полость перед моментом обрушения свода, б – воронка цилиндрической формы, в – деформация на поверхности (вид сверху)

Протекание процесса в двухслойной среде, представленной песком, перекрываемым песчано-глинистым слоем, мощностью 15 см проходило сходному сценарию, при этом границе двух слоев образовывалась дополнительная полость 0,4х6-10см. Полости также поочередно сменяли друг друга, и образование большой полости приводило к проседанию свода и в конечном итоге образованию провала с вертикальными стенками, обрушение этих стенок завершало формирование конической воронки со средним значением диаметра 18 см. Полный цикл процесса от начала замачивания составил 75 мин. (рис. 5).

Средние значения объемов выноса пульпы к объему однородного грунта для сечения дефектов и соответствующих мощностей грунта в камере изменяются достаточно закономерно. Так для сечений 4 см² и мощности грунта 30 см отношения объема пульпы и грунта изменяются в пределах 5960-7448 см³ и 4485-5700 см³ соответственно, критическое значение объема при этом составляет в среднем 200-260 см³. При увеличении площади сечения дефекта и увеличивалось критическое значение объема выноса пульпы. Для сечения 8см² показатель составил 780 см³, для сечения 12 см²–1690 см³.

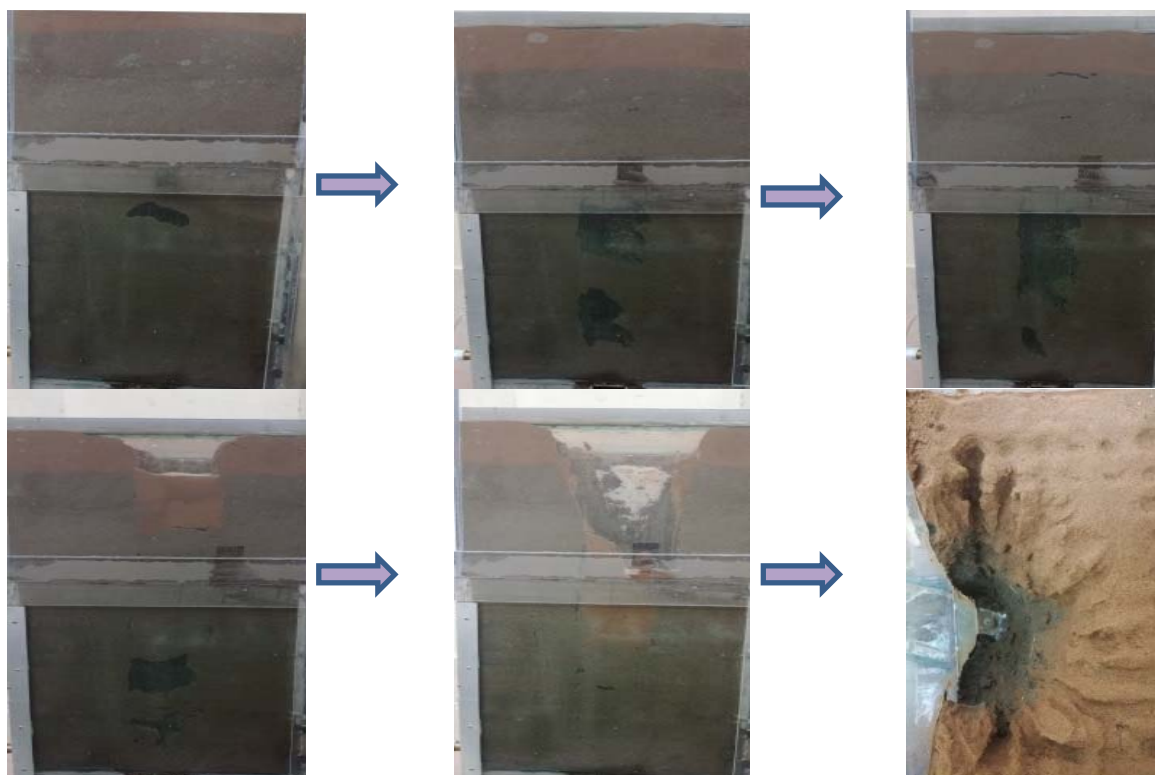


Рис.6. Формирование полостей и провалов в двухслойной среде

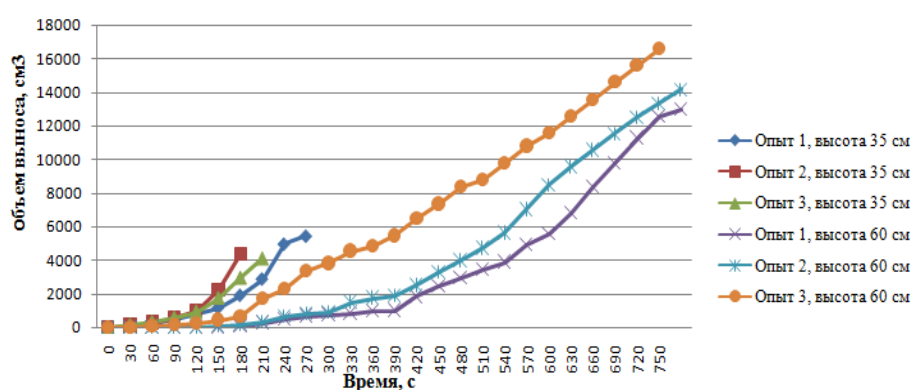


Рис.7. Зависимость объема выноса от времени (при высоте грунта 35 и 60 см)

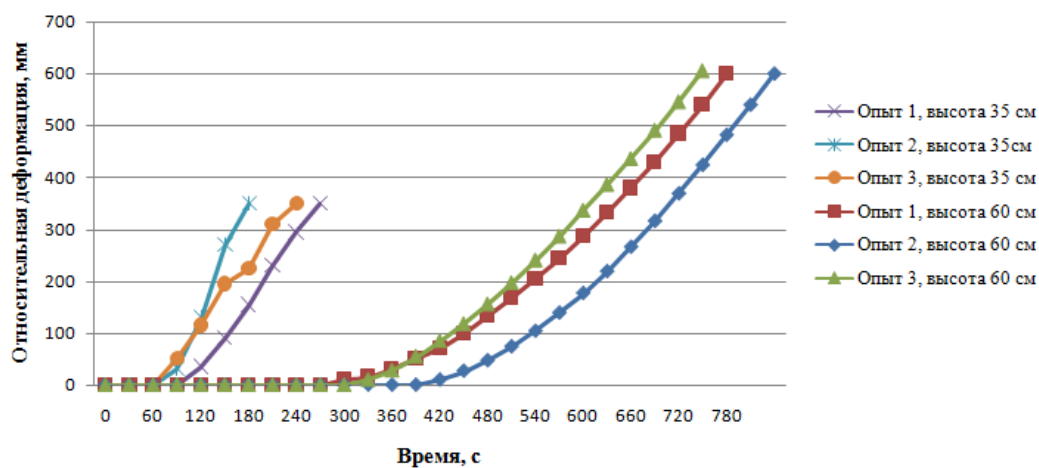


Рис. 8. Зависимость относительной деформации от времени (при высоте грунта 35 и 60 см)

В настоящее время проблема прогноза экзогенных геологических процессов является наиболее актуальной, но слабо разработанной (Осипов, 1999). Поэтому, по данным лабораторного моделирования и графоаналитических расчетов была осуществлена попытка составления ориентировочного прогноза провалообразования для однородного грунта мощностью 70, 100, 150 и 200 сантиметров при сечении дефекта 4, 8 и 12 см² и рассчитаны следующие показатели: объем воронки и верхний диаметр воронки, объем вынесенного грунта, критическое значение объема выноса и примерное время образования провала.

Первичный анализ графиков распределения количественных показателей по времени позволяет выявить закономерности для предварительного прогноза времени провалообразования, объема массы вынесенного грунта и его критические значения, а также установить диаметры провалов на поверхности для различных мощностей техногенных грунтов и сечений предполагаемых дефектов сооружений. Сопоставление результатов прогноза характеристик и времени образования провалов в песчаных грунтах полученных графоаналитическим методом с результатами лабораторного моделирования суффозии показывают близкие значения. Так, полученные на основании регрессионного анализа кривых распределения показателей для сечения 12 см² в песках мощностью 70 см прогнозные значения объемов выноса составили 28427 см³ при весе грунта 47363,7 г, предполагаемый диаметр провала на поверхности при этом достиг 32 см, а время полного цикла провалообразования – 31 мин.

Лабораторное моделирование для аналогичных условий с мощностью песка 60 см показало объем 24886 см³ при весе 39677 г и средним диаметром провала на поверхности 30 см. Полный цикл процесса составил – 33 мин.

Соответственно для разных мощностей песчаных грунтов при сечении дефектов 12 см² прогнозируемые показатели будут выглядеть следующим образом:

- при мощности грунта 100 см объем вынесенного материала – 58195 см³, провал сформируется за 1 час диаметром на поверхности земли 40 см;
- при высоте грунта 150 см объем вынесенного материала – 136276 см³, воронка сформируется за 2 часа с диаметром на поверхности 52 см;
- при высоте грунта 200 см объем вынесенного материала – 262085 см³, воронка образует за 4 часа с диаметром на поверхности земли 64 см.

Важно отметить, что для объективного отражения объемных и весовых количественных показателей суффозионного выноса в различных условиях (контактный вынос на стыке вертикальной поверхности, вынос грунта в массиве над дефектом в горизонтальных водонесущих системах и пр.), целесообразно применение корректировочных коэффициентов и учет отношений объемов пульпы и грунта, а для подтверждения полученных выводов – проведение натурных наблюдений за провалообразованием.

Заключение

Лабораторные исследования по оценке суффозионной устойчивости грунта позволяют изучить общие закономерности во взаимодействии грунта с филь-

трационным потоком, что зачастую не удастся при проведении экспериментов в натурных условиях (Аникеев, 1985). Также, данный метод позволяет оценить время развития геологического процесса на локальном уровне. Но, здесь следует заметить, что лабораторные эксперименты весьма трудоемки и требуют учесть как можно больше факторов, влияющих на развитие и протекание процесса.

Лабораторное физическое моделирование является одним из наиболее объективных методов изучения суффозии, который позволяет наглядно проследить за протеканием процесса, а также использовать полученные значения в предварительных прогностических целях. Объективность полученных результатов зависит от методики подготовки и проведения опыта. Полученные показатели и зависимости позволяют рассмотреть стадии развития суффозии, граничные особенности при которых начинается вынос, разрушение и образование воронки в песчаной толще, а накопление достаточной базы данных – создать методику прогноза и трехмерного моделирования процесса в различных природно-техногенных условиях.

Другим немаловажным аспектом является возможность использования фильтрационного объемного лотка для моделирования и оценки эффективности технических мероприятий по локализации, ликвидации и предотвращению фильтрационного разрушения грунтов.

Библиографический список:

1. *Аникеев А.В.* Образование провалов в массиве водонасыщенных пород (по результатам моделирования методом эквивалентных материалов) // Литосфера: вопросы геологии и охраны среды. М.: Наука, 1985. С. 28–29.
2. *Димухаметов Д.М., Новопоселенских Л.А., Бахарева Н.С.* Суффозионные процессы на территориях городов // Современные проблемы науки и образования, № 2-2. М.: Академия Естествознания, 2015. С. 890.
3. *В.И. Осипов, В.М. Кутепов и др.* Опасные экзогенные процессы. М.: ГЕОС, 1999. 290 с.
4. *Потапов И.А., Шименкова А.А., Потапов А.Д.* Зависимость суффозионной устойчивости песчаных грунтов различного генезиса от типа фильтрата // Вестник МГСУ № 5. М.: ООО «Издательство АСВ», 2012. С. 79–86.
5. Рекомендации по методике лабораторных испытаний грунтов на водопроницаемость и суффозионную устойчивость // ВНИИГ. Ленинград, 1983.
6. *Тер-Мартirosян З.Г.* Вопросы механической суффозии в гидротехническом, промышленном и гражданском строительстве // Вестник МГСУ, № 4. М.: ООО «Издательство АСВ», 2010. С.301–309.
7. *Хоменко В.П.* Закономерности и прогноз суффозионных процессов. М.: ГЕОС, 2006. 38 с.
8. *Хоменко В.П.* Карстовые и суффозионные провалы г. Москве: особенности инженерно-геологических изысканий и прогнозирования // Вестник МГСУ, № 4. М.: ООО «Издательство АСВ», 2010. С. 158–162.

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОКРИОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ТРАССЫ НЕФТЕГАЗОСБОРНОГО ТРУБОПРОВОДА НА ТЕРРИТОРИИ ИРКУТСКОЙ ОБЛАСТИ

В работе приводится характеристика инженерно-геологических условий трассы проектируемого нефтегазосборного трубопровода, которая была выполнена в пределах территории месторождения. Участок изучения расположен в зоне прерывистого распространения многолетнемерзлых грунтов. При подземной прокладке трубопровода будет производиться обогревающий эффект на многолетнемерзлую толщу, в связи с чем, прогнозируется изменение геокриологических условий трассы. Для этого проведены расчеты определения ореола оттаивания грунтов и величины осадки грунта при оттаивании.

Ключевые слова: инженерно-геокриологические условия, многолетнемерзлые грунты, тепловой эффект

T.G. Kovaleva, A.I. Kirillova
Perm State University, ¹kovalevatg@mail.ru, ²kirillova_ai@mail.ru

ENGINEERING-GEOCRYOLOGICAL CONDITIONS OF THE OIL-GAS-PIPE PIPELINE TRACK IN THE TERRITORY OF IRKUTSK REGION

The engineering and geological conditions of the route of the projected oil and gas gathering pipeline have been estimated within the investigated area of the field, which is within the limits of the distribution of many-freezing soils. An estimation of the heating effect of the pipeline on the massif formed by cryogenic soils was made on the basis of calculation methods.

Key words: engineering and geological conditions, many-freezing soils, heating effect

В настоящее время в России происходит активное развитие нефтегазовой отрасли, связанное с интенсивным освоением месторождений нефти и газа, расположенных в удаленных от потребителей восточных и северных районах страны, характеризующихся сложными климатическими и геокриологическими условиями. Бесперебойная транспортировка углеводородов потребителю является одной из приоритетных задач для экономики нашего государства. В связи с чем, необходимо обеспечить безопасность и надежность функционирования магистральных нефтепроводов, проложенных в криолитозоне.

В российских научных изданиях широко представлены работы отечественных ученых и специалистов, посвященные решению проблемы обеспечения промышленной безопасности и безаварийной эксплуатации магистральных трубопроводов на многолетнемерзлых грунтах: Примаков С.С., Новиков П. А. и др. (4, 5).

В настоящее время четкий порядок прогнозирования оттаивания мерзлых грунтов вокруг магистральных нефтепроводов отсутствует, нет технологии своевременного выявления потенциально опасных участков трубопровода для

планирования мероприятий по предупреждению аварийных ситуаций. В связи с этим задача повышения безопасности магистральных нефтепроводов путем заблаговременного выявления опасных участков, нахождения путей решения для ликвидации возможных аварий является актуальной.

Исследуемый объект расположен в Катангском районе Иркутской области, в верховьях реки Чона. В геоморфологическом отношении занимает юго-восточную, наиболее приподнятую часть Ербогаченской равнины. По характеру рельефа – это волнистая равнина, осложненная криогенным микрорельефом с общим наклоном поверхности на северо-запад. Климат района резко континентальный с продолжительной холодной зимой и жарким летом (1, 2). В геологическом строении территории до разведанной глубины 5,0-15,0 м принимают участие главным образом элювиально-делювиальные суглинки и юрские аргиллиты, повсеместно перекрытые почвенно-растительным слоем. Стоит отметить близкое залегание к поверхности коренных аргиллитов в целом по трассе (от 0 до 4 м) и лишь на отдельных участках аргиллиты залегают на глубине более 10 м.

Район находится в зоне прерывистого распространения многолетнемерзлых пород. Мощность многолетней мерзлоты в целом для района составляет от 10 до 100 м и более. Мерзлые грунты по температурному состоянию характеризуются как пластичномерзлые и твердомерзлые с температурой от минус 0,2°С до минус 5,2°С. По льдистости за счет видимых ледяных включений и суммарной льдистости глинистые грунты классифицируются как слабольшедистые и льдистые, скальные – как слабольшедистые.

Нефтегазопровод является высокотемпературным объектом. При подземной прокладке трубопровода будет производиться утепляющий эффект на многолетнемерзлую толщу, в связи с чем, прогнозируется изменение геокриологических условий трассы. Для определения ореола оттаивания грунтов были выполнены специальные расчеты.

Различают низкотемпературные и высокотемпературные трубопроводы. Первые рассчитывают исходя из образования стационарного температурного поля вокруг трубы, вторые – из нестационарного. К первому или второму виду трубопровод относят исходя из значения температуры βt . Если $\beta t \geq 0,2$, то трубопровод относят к низкотемпературному виду (3). Методика расчета ореола оттаивания отличается в зависимости от вида трубопровода.

Для расчета ореола оттаивания вокруг подземного трубопровода необходимы следующие данные: радиус трубы, $r_{тр}=0,25$ м, глубина заложения трубы $h=4$ м (определяемая как нормативная глубина сезонного оттаивания плюс 1 м), температура транспортируемой среды $t_c=12^\circ\text{C}$, грунт-основание – суглинок твердомерзлый слабольшедистый с температурой грунта $t_0=-1,1^\circ\text{C}$, теплопроводность грунта в талом состоянии, $\lambda_t=1,2$ Вт/м°С, теплопроводность грунта в мерзлом состоянии, $\lambda_m=1,35$ Вт/м°С.

Для начала определяем, к какому виду относится трубопровод. Для этого вычисляем температуру βt :

$$\beta t = -\lambda_m \times t_0 : v \lambda_t \times t_c,$$

где λ_m – теплопроводность грунта в мерзлом состоянии, Вт/м°С; t_0 – среднегодовая температура грунта на подошве слоя сезонного оттаивания, °С, v – ко-

коэффициент, учитывающий работу теплопровода неполным сечением (табл.1); t_c – температура транспортируемой среды, °С.

Таблица 1 – Значения коэффициента v

t_0 , °С	v при различной степени заполнения трубы, %		
	10	30	100
0	0,80	0,95	1,0
-2	0,75	0,85	1,0
-4	0,70	0,80	1,0
-6	0,66	0,77	1,0

$$\beta t = -1,35 \times (-1,1) / 1 \times 1,2 \times 12 = 0,1;$$

таким образом, $Bt < 0,2$, следовательно, трубопровод является высокотемпературным.

Глубины оттаивания многолетнемерзлых пород под центром (h_n) и мощность мерзлого грунта над центром трубы (h_b) определяется по формулам:

$$h_n = (\xi t - m - 1) \times r_{тр}; \quad h_b = (h^2 - r_{тр}^2) : h_n;$$

где m – отношение глубины заложения трубы h к ее радиусу $r_{тр}$; ξt – глубина оттаивания под центром трубы, определяемая по номограмме в зависимости от параметров m , βt и It : $m = 4 : 0,25 = 16$; It – время, рассчитываемое по формуле:

$$It = v \times \lambda_T \times t_c \times \tau / 4gf \times r_{тр}^2;$$

здесь τ – расчетный период, ч, принят равным 720 часов; gf – удельная теплота таяния мерзлого грунта, Вт.ч/м³, рассчитывается по формуле:

$$gf = g \times (W_c - W_n) \times \rho_{с.м};$$

где W_c – суммарная влажность, д.е.; W_n – влажность за счёт незамерзшей воды, $\rho_{с.м}$ – плотность сухого мерзлого грунта, кг/м³.

$$gf = 9,8 \times (0,23 - 0,05) \times 1600 = 2822 \text{ Вт.ч/м}^3$$

$$It = 1 \times 1,2 \times 12 \times 720 : 4 \times 2822 \times 0,252 = 14,7$$

$$\xi t = 65 \text{ (по номограмме)}$$

$$h_n = (65 - 16 - 1) \times 0,25 = 12 \text{ м}$$

$$h_b = (16 - 0,252) : 12 = 1,33 \text{ м}$$

Радиус ореола оттаивания вокруг трубы $r_{от}$ находится по формуле:

$$r_{от} = 0,5(h_n - h_b).$$

$$\text{Таким образом, } r_{от} = 0,5 \times (12 - 1,33) = 5,33 \text{ м.}$$

Аналогичным образом были выполнены расчёты ореола оттаивания при $t_c = 8^\circ\text{C}$, $r_{от}$ составил 4,9 м, а также для грунта-основания – суглинок пластично-мёрзлый слабодистый при $t_c = 8^\circ\text{C}$, $r_{от} = 5,0$ м и при $t_c = 12^\circ\text{C}$, $r_{от} = 5,6$ м.

Таким образом, радиус оттаивания для разных грунтов и при разной температуре нефти изменяется от 4,9 до 5,6 метров.

Необходимо оценить, какое влияние окажет полученный ореол оттаивания на условия нахождения трубопровода в массиве. Для этого была рассчитана осадка грунта после его оттаивания в соответствии с нормативными рекомендациями (8).

По результатам расчёта величина осадки грунта при оттаивании варьируется в пределах от 2,8 до 4,6 см. Такая величина осадки при ее равномерности сама по себе не опасна для устойчивости трубопровода. Однако ситуацию осложняет

тот факт, что осадка будет происходить точно из-за разного инженерно-геологического строения, наблюдаемого по трассе. Разность осадок на участках с разным литологическим строением будет превышать допустимые значения (2-5 мм) (7), так как участки со значениями осадок от 2,8 до 4,6 см граничат с участками, где осадка будет отсутствовать вследствие малой глубины залегания коренных пород. Столь значительная разность осадок грунта в результате эксплуатации нефтегазосборного трубопровода приведет к возникновению повышенных напряжений в трубопроводе, что в свою очередь может привести к его деформации. Таким образом, в имеющихся условиях наземная прокладка нефтепровода с использованием свайного фундамента будет предпочтительнее.

Библиографический список:

1. Арутюнов С.Л., Журавлев А.Г., Кисилева Г.А., и др. Тектоника нефтегазоносных областей юга Сибирской платформы. М.:Недра, 1982. 92 с.
2. Голодковская Г.А., Попов И.В., Чаповский Е.Г. и др. Инженерная геология СССР. Т. 3. Восточная Сибирь. Москва, МГУ, 1977. 657 с.
3. Дубина М.М., Паньков О.О. Методические указания к практическим работам по курсу «Инженерное мерзлотоведение» для студентов дневной формы обучения специальности ПГС; Тюмень: ТюмГАСА, 2004 г.
4. Примаков С.С., Вершинин В.Е., Жолобов И.А. Теплосиловое взаимодействие горячих подземных трубопроводов с многолетнемерзлыми грунтами // Трубопроводный транспорт нефти. 2013, С. 128–131.
5. Новиков П. А. Диссертация «Выявление опасных участков магистральных нефтепроводов на основе долгосрочного прогнозирования ореола оттаивания многолетнемерзлых грунтов», Москва, 2016.
6. ГОСТ Р 55990-2014 Месторождения нефтяные и газонефтяные. Промысловые трубопроводы. Нормы проектирования. Москва, 2014.
7. СП 22.13330.2011 Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83. Москва, 2011.
8. СП 25.13330.2012 Основания и фундаменты на вечномёрзлых грунтах. Актуализированная редакция СНиП 2.02.04-88. Москва, 2012.

МЕТОДИКА ВЫБОРА УЧАСТКОВ СТРОИТЕЛЬСТВА ОБЪЕКТОВ НЕФТЕДОБЫЧИ В УСЛОВИЯХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ОГРАНИЧЕНИЙ

Обеспечение экологической безопасности при осуществлении нефтедобычи является приоритетной задачей недропользователя. Поэтому важной задачей является разработка методики выбора оптимальных мест заложения объектов нефтедобычи в условиях экологических ограничений. В работе приведены результаты исследования по определению мест размещения площадки под строительство поисковых скважин, выбраны оптимальные технические решения позволяющие минимизировать негативное воздействие сооружений на окружающую среду, в том числе на участок Камского водохранилища.

Ключевые слова: объекты нефтедобычи, экологические ограничения, негативное воздействие.

V.V. Seredin, L.O. Leibovich
Perm State University, Seredin@nedra.perm.ru

LANDS SELECTION METHOD FOR BUILDING OF OIL OBJECTS, IN THE ENVIRONMENTAL RESTRICTIONS

Ensuring environmental safety in the implementation of oil production is a priority task for the subsoil user. Therefore, an important task is the development of a methodology for selecting the optimal locations for laying oil production facilities under environmental constraints. The paper presents the results of a study to determine the location of the site for the construction of exploratory wells, selected the optimal technical solutions to minimize the negative impact of buildings on the environment, including the site of the Kama reservoir.

Key words: oil production facilities, environmental restrictions, negative impact.

Актуальность проблемы

Обеспечение экологической безопасности при осуществлении нефтедобычи является приоритетной задачей недропользователя. Деятельность нефтедобывающих компаний сопровождается, как правило, негативным воздействием на окружающую среду на всех этапах разработки месторождений. Этому воздействию подвергаются подземные и поверхностные воды, почвы, грунты, атмосферный воздух, растительность, животный мир. Анализ причин, вызывающих негативное воздействие нефтедобычи на природную среду показал, что кроме технологических, огромное влияние оказывают природные условия участков заложения кустовых площадок. К ним (природным условиям) можно отнести весь комплекс инженерно-геологических условий: геолого-литологическое строение массива пород, гидрогеологические и гидрологические условия, геологические процессы и явления. Учет инженерно-геологических условий при выборе территорий заложения кустовых площадок, в условиях экологических

ограничений, особенно на акваториях водохранилищ изучен недостаточно полно. Кроме того, практически отсутствует опыт воздействия, особенно волнового, на устойчивость инженерных сооружений (объектов нефтедобычи) расположенных в акватории водохранилищ.

Поэтому важной задачей является разработка методике выбора оптимальных мест заложения объектов нефтедобычи в условиях экологических ограничений.

В методическом плане выбор оптимального места размещения производственной площадки для добычи нефти в акватории водохранилищ и обосновании ее (площадки) технологических параметров осуществляется следующим образом: первоначально проводится согласование с ФГУ «ВОДПУТЬ» части акватории для размещения объектов нефтедобычи. Затем проводятся инженерно-геологические и специальные исследования. После чего выполняются проектные работы с учетом экологических и инженерно-геологических ограничений. На последнем этапе, после строительства объекта, проводится мониторинг.

Пример практической реализации. Объектом исследований явилась Зыряновская нефтяная структура (Кондасского участка недр) расположенная большей частью в акватории р. Кама (Пермский край).

Выбор и обоснование территории заложения объектов нефтедобычи. На территории Зыряновской структуры выявлены следующие эколого-природные ограничения, не позволяющие осуществить добычу нефти.

Особо охраняемая природная территория (ООПТ) регионального значения – охраняемый ландшафт «Огурдинский бор» и особо охраняемая природная территория (ООПТ) местного значения – Лесопарк пригородной зоны г. Березники. Согласно требованиям Российского законодательства для обеспечения охраны природных комплексов и поддержания экологического баланса ООПТ добыча нефти в границах особо охраняемых природных территорий недопустима, поэтому территории ООПТ исключены при выборе площадки для добычи нефти.

Нераспределенный фонд, с балансовыми запасами калийно-магниевых солей Верхнекамского месторождения (ВКМКС). В соответствии с ПБ 07-436-02 на площадях залегания балансовых запасов калийных солей категорий А, В, С₁, а также в пределах охранной зоны вокруг указанных площадей бурение скважин на нефть в целях обеспечения промышленной безопасности ВКМКС не допускается. Кроме того промышленная разработка месторождений нефти в целях обеспечения промышленной безопасности ВКМКС не допускается на площадях залегания запасов калийных солей, разведанных по категории С₂.

При наличии на предоставленном в пользование участке недр запасов калийных солей категории С₂ осуществляется их доразведка и перевод в установленном порядке в более высокие категории или снятие с государственного баланса запасов в случае их не подтверждения. Поэтому использовать эти территории для добычи нефти не представляется возможным.

Анализ эколого-природных ограничений территории занимаемой Зыряновской структурой показал, что размещение производственной площадки для до-

бычи нефти возможно только в акватории Камского водохранилища, что не противоречит Водному кодексу Российской Федерации.

Обоснование технологических параметров площадки нефтедобычи производилось следующим образом:

1. Согласовалось место размещения куста нефтяных скважин в Камском государственном бассейновом управлении водных путей и судоходства (ФГУ «КАМВОДПУТЬ»). Участок нефтедобычи расположен на затопленной пойме левого берега Камского водохранилища и на расстоянии не менее 750 м от правого берега р. Кама.

2. Согласовалось с отделом водных ресурсов по Пермскому краю Камского БВУ размещение площадок (искусственных сооружений) и трасс коммуникаций под строительство скважин в акватории Камского водохранилища при условии оформления решения о предоставлении водного объекта в пользование.

3. На основании полученной информации определены природно-производственные критерии площадки, для проведения поисково-разведочных работ на Зыряновской нефтяной структуре. Предполагалось разместить технологическую площадку на расстоянии свыше 0,7 км от левого берега и 1,25 км от правого берега водохранилища. Технологическая площадка должна соединяться с левым берегом Камского водохранилища подъездной автодорогой (транспортной дамбой).

4. Для обоснования оптимальных, эколого-производственных решений на участке размещения планируемых сооружений выполнены комплексные инженерные изыскания.

В геоморфологическом отношении участок размещения производственной площадки и дамбы приурочен к затопленной поверхности левобережной террасы р. Кама, где глубины не превышают 2,0 м при отметке НПУ 108,50 м, а при сработке водохранилища в зимний период – глубины составляют 0,5 м.

В геологическом строении участка выделены породы пермской системы, перекрытые аллювиальными и аллювиально-делювиальными четвертичными отложениями. Разрез четвертичных аллювиально-биогенных и аллювиальных отложений представлен (сверху вниз до глубины 10 м): илом супесчаным мощностью 0,5–0,8 м и насыщенными водой торфами мощностью 0,2–0,7 м (аллювиально-биогенные отложения, abQIV), легкой, пылевой, мягкопластичной глиной с примесью органических веществ, имеющей мощность до 2,0 м, и насыщенными водой песками средней крупности мощностью 7,0–9,5 м (аллювиальные отложения, aQIV). Современные донные отложения на рассматриваемом участке акватории Камского водохранилища представлены тяжелыми суглинками с примесью органических веществ (содержание песка составляет 24,57 %, глинистых частиц – 20,64 %, пыли – 54,79 %) и легкими супесями с примесью органических веществ (содержание песка – до 76,18 %, глинистых частиц – 12,70 %, пыли – до 42,88 %).

Согласно схеме гидрогеологического районирования Урала, рассматриваемый район расположен на восточной окраине Волго-Камского артезианского бассейна, в пределах границ Предуральского артезианского бассейна второго

порядка. Соликамская впадина, к которой непосредственно приурочен район исследований, представляет собой самостоятельную гидрогеологическую провинцию. Здесь соленосная толща, являющаяся региональным водоупором, отделяет зоны активного и затрудненного водообмена (верхний надсолевой гидрогеологический этаж) от зоны весьма затрудненного водообмена (нижний подсолевой гидрогеологический этаж).

Для района характерна хорошо выраженная вертикальная гидродинамическая и гидрогеохимическая зональность – с глубиной происходит закономерное увеличение минерализации и смена гидрохимических фаций. Выделяются три гидрохимические зоны:

- зона пресных вод гидрокарбонатно-кальциевой гидрохимической фации – охватывает верхние водоносные комплексы, включая пестроцветные терригенные отложения шешминского (P2ss) горизонта, терригенно-карбонатную (P2sl2) и верхнюю часть соляно-мергельной (P2sl1) толщ соликамского горизонтов;

- зона развития сульфатных вод, приуроченных к средней части соляно-мергельной толщи (P2 sl1);

- зона развития рассолов хлоридно-натриевой гидрохимической фации охватывает низы соляно-мергельной толщи.

Зона активного водообмена на рассматриваемой территории представлена грунтовыми водами четвертичных отложений и трещинными водами отложений шешминского и соликамского горизонтов.

Территория строительства площадки расположена в незащищенной зоне, для которой характерна малая мощность зоны аэрации и большая доля песчанистых отложений в ее разрезе. Это, в свою очередь, требует разработки и строгого соблюдения природоохранных мероприятий при строительстве объектов, которые позволят исключить загрязнение приповерхностной гидросферы.

Гидрологический режим Камского водохранилища определяется его условиями эксплуатации. Образованное Камским гидроузлом водохранилище относится к водохранилищам с сезонным регулированием стока. Наполнение водохранилища производится ежегодно в весенний период до отметки НПУ. Во время больших половодий возможен подъем уровня воды до горизонта катастрофического паводка (ФГ). В результате работы ГЭС в нижний бьеф постепенно сбрасываются большие объемы воды, которые летом и зимой не возмещаются притоком воды с бассейна. Вследствие этого накопленный объем воды сбрасывается полностью или частично в том же году. Летом в многоводные годы понижение уровня почти не происходит, в средние по водности годы уровень опускается приблизительно на 0,5 м, а в маловодные годы может понижаться до 1,5 м. В зимний период понижение уровня происходит более интенсивно и к концу зимы достигает 7–8 м.

Фоновые концентрации загрязняющих веществ (нефтепродуктов и взвешенных веществ) в воде Камского водохранилища предоставлены ГУ «Пермский ЦГМС». Воды в Камском водохранилище в районе работ по химическому составу хлоридно-гидрокарбонатные-кальциево-натриевые, гидрокарбонатно-хлоридные-кальциево-натриевые, пресные с содержанием сухого остатка 270–

500 мг/дм³, умеренно жесткие. В водах Камского водохранилища было при проведении изысканий было отмечено превышение ПДКр.х. по ионам аммония и фенолам. Содержание нефтепродуктов не превышают ПДКр.х.

Результаты химического опробования донных отложений показали, что содержание основных загрязняющих веществ по всем выбранным показателям находятся в пределах ПДК.

Согласно данным ФГУ «КАМУРАЛРЫБВОД», общий список видов рыб Камского водохранилища к настоящему времени насчитывает до 36: налим, лещ, щука, судак, жерех, синец, чехонь, густера, линь, красноперка, язь, голавль, плотва, окунь уклея, подуст, вьюн, пескарь, ерш и другие. Ихтиофауна водохранилища сформировалась за счет аборигенных видов, обитающих в реке Кама.

5. Научные исследования. Для выбора технологических параметров искусственных сооружений и оценки допустимости воздействия на Камское водохранилище при строительстве и эксплуатации возводимых сооружений была выполнена научно-исследовательская работа (НИР) В рамках которой решены следующие вопросы:

- определена конфигурация, линейные размеры, минимально допустимая высота отметки поверхности, положение нижней границы фронтального откоса производственной площадки;
- для защиты проектируемых сооружений от действия волн, принято питание береговой зоны (намыв или отсыпка грунта) пляжеобразующим материалом и создание искусственных пляжей;
- для оценки уровня воздействия проектируемой технологической площадки и подъездной автодороги с мостовым переходом на природную среду проведено моделирование динамического режима вод.

На основании научных исследований выработаны рекомендации, которые необходимо учитывать при разработке проектов:

- при площади проектируемых сооружений на акватории водохранилища 0,08 км² уменьшение площади мелководий составит не более 0,004 % что не повлияет на ведение рыбохозяйственной деятельности и активизации природных процессов.

- сокращение объема водоема при строительстве искусственных сооружений, на 0,0000135 км³ по сравнению с объемом воды водохранилища 12,2 км³, не вызовет подтопления и, тем более, затопления прилегающих берегов, включая прилегающие острова.

- сохранение средней глубины водного объекта, гарантирующей сохранение условий прогревания и степени эвтрофикации водного объекта. Поскольку средняя глубина представляет собой отношение объема водной массы к площади зеркала, а изменения, затрагивающие объем, в 5 раз значительно превышает изменения, затрагивающих площадь зеркала, изменения средней глубины в процентном выражении приняты равными изменению объема, т.е. 0,02 %.

- неухудшение процессов водообмена водного объекта и его обособленных частей (заливы), подтвержденного гидравлическими расчетами. Согласно результатам математического моделирования, обмен вод в целом по всему исследуемому створу водохранилища, в котором расположены проектируемые объ-

екты, не изменится – произойдет некоторое смещение интенсивности водообмена в сторону старого русла реки и его замедление на затопленных элементах долины в районе производственной площадки. Отверстие в мостовом переходе, даст возможность осуществлению обмена вод, но приведет все же к образованию незначительных застойных зон. Характер существующего обмена вод в исследуемом районе находится в полном соответствии с изменением линий токов жидкости на плане течений, построенном при наличии технологической площадки.

6. Проектные и природоохранные работы. На основании полученной информации в соответствии с требованиями федерального закона от 10.01.2002 №7-ФЗ «Об охране окружающей среды» была выполнена оценка воздействия на окружающую среду, в том числе на Камское водохранилище, в результате планируемого строительства сооружений на акватории.

Заключение

В результате выполненной работы определено место размещения площадки под строительство поисковых скважин, выбраны оптимальные технические решения позволяющие минимизировать негативное воздействие сооружений на окружающую среду, в том числе на участок Камского водохранилища.

Библиографический список:

1. *Федеральный закон от 19.07.2011 № 246-ФЗ «Об искусственных земельных участках, созданных на водных объектах, находящихся в федеральной собственности, и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации»*
2. *Водный кодекс Российской Федерации» от 03.06.2006 № 74-ФЗ*
3. *Коноплев А.В., Красильников П.А.* Районирование территории пермского края по величине природно-ресурсного потенциала на основе ГИС-технологий // *Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского.* 2009. № 3 (17). С. 150–156.
4. *Лейбович Л.О., Середин В.В., Пушкарева М.В., Чиркова А.А., Копылов И.С.* Экологическая оценка территорий месторождений углеводородного сырья для определения возможности размещения объектов нефтедобычи // *Журнал «Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе» – Москва 2012 – № 12 – С. 13–16.*
5. ПБ 07-436-02. Правила промышленной безопасности при освоении месторождений нефти на площадях залегания калийных солей.
6. *Середин В.В.* Исследование степени загрязнения углеводородами грунтов территорий нефтегазовых месторождений // *Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело.* – 2014. - №12. – С. 67–74.
7. *Середин В.В., Пушкарева М.В., Бахарев А.О., Татаркин А.В., Филимончиков А.А., Лейбович Л.О.* Изменение геологической среды при разработке нефтяных месторождений в сложных геологических условиях // *Журнал «Нефтяное хозяйство» – Москва 2014 – № 12 – 153–155.*
8. *Середин В.В., Пушкарева М.В., Лейбович Л.О., Чиркова А.А.* Оценка природной среды на территориях нефтедобычи при инженерно-экологических изысканиях // *Журнал «Защите окружающей среды в нефтегазовом комплексе», Москва, 2014, № 6 – С. 35–40.*
9. *Чемус А.А., Красильников П.А., Пенский О.Г., Гершанок В.А., Карасева Т.В.* Инженерно-геологические и геоэкологические условия прибрежной зоны камского водохранилища, осваиваемой для строительства объектов нефтедобычи // *Современные проблемы науки и образования.* 2012. № 6. С. 626.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОСАДКИ МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ТОРФОВ ПРИ ОТТАИВАНИИ НА ТЕРРИТОРИИ ЯМАЛО-НЕНЕЦКОГО И НЕНЕЦКОГО АО

На территории Ямало-Ненецком и Ненецком АО имеют широкое распространение многолетнемерзлые торфы. При эксплуатации трубопроводов сохранить их мерзлом состоянии практически невозможно, поэтому важнейшей характеристикой для проектирования является осадка при оттаивании. В различных источниках помимо прямого лабораторного или полевого определения осадки существуют еще расчетные методы, но только на песчаные и глинистые разновидности грунтов. В данной статье приведены результаты корреляционного и регрессионного анализа по данным лабораторных определений осадки для торфов. В результате получены уравнения регрессии, по которым можно вычислить коэффициент оттаивания и коэффициент сжимаемости при оттаивании для многолетнемерзлых торфов. Данные уравнения могут использоваться для предварительных расчетов при проектировании.

Ключевые слова: нефтепроводы, газопроводы, многолетнемерзлые торфы, осадка при оттаивании, коэффициент оттаивания, коэффициент сжимаемости, криолитозона.

M.R. Iadzinskaia
Perm State University , marinayadzinskaya@mail.ru

FORECASTING OF DEPRESSION OF MULTI-YEAR-FROZEN PEATS WHILE DRAWING IN THE TERRITORY OF YAMALO-NENETSKY AND NENETS AO

Permafrost peat is widespread on the territory of the Yamalo-Nenets and Nenets autonomous areas. During the operation of pipelines, it is almost impossible to keep them frozen, therefore the most important characteristic for design is a draft during thawing. In various sources, in addition to direct laboratory or field determination of precipitation, there are also computational methods, but only for sandy and clayey varieties of soils. This article presents the results of correlation and regression analysis according to laboratory determinations of sludge for peat. As a result, regression equations have been obtained, from which it is possible to calculate the defrosting coefficient and the compressibility coefficient during thawing for permafrost peat. These equations can be used for preliminary calculations in the design.

Key words: oil pipelines, gas pipelines, permafrost peat, sediment during thawing, thawing coefficient, compressibility factor, cryolithozone.

Данная статья опирается на многочисленные материалы инженерно-геологических изысканий в Ямало-Ненецком и Ненецком АО. Среди экзогенных геологических процессов, существенно осложняющих освоение террито-

рии помимо мерзлотных процессов необходимо отметить сильную заболоченность и заторфованность территории. Здесь преобладают полигональные травяно-гипновые, травяные и реже сфагновые болота.

Строительство нефте- и газопроводов в криолитозоне осложняется механическим и тепловым воздействием трубопроводов на геологическую и гидрогеологическую среды и нередко служит причиной аварийных ситуаций на трубопроводах и загрязнением природной среды. При этом вопросы рекультивации загрязненных земель достаточно трудозатратны. При эксплуатации нефтепроводов, происходит пучение сезонно-мерзлого и деформации грунтов сезонно-талого слоев, что влечет за собой выпучивание (всплывание) и деформации трубопроводов. Развитие процессов обводнения и заболачивания трасс нефтепроводов в результате деградации вечной мерзлоты приводит к размыву траншеи и оголению трубопровода. Термическое влияние трубопровода оказывает существенное влияние на изменение температуры грунта, поэтому активизируются термоэрозийные процессы. Воздействие этих процессов на нефтепроводы и газопроводы часто носит катастрофический характер. Для решения таких задач зачастую проводят районирование территории по целевому назначению. В последние годы, для районирования активно используются ГИС-системы (Красильников и др, 2009; Коноплев, Красильников, 2009).

Эксплуатационная надежность трубопроводов осложняется широким распространением многолетнемерзлых грунтов, которые после перехода в талое состояние многократно снижают свои несущие свойства. Мерзлые грунты дают значительную осадку при оттаивании и существенное снижение сопротивления сдвигу. Грунты с низкой несущей способностью, в частности такие как торфы, служат причиной потери продольной устойчивости трубопроводов, в отдельных случаях с всплыванием их на поверхность, растяжки, образованием арок и гофров, крены звеньев и оголовков. Для повышения эксплуатационной надежности магистральных газопроводов разработаны методы с применением технологии и технических средств активной термостабилизации грунтов. При этом не удалось установить связи между изменениями природно-климатических условий и числом аварий, связанных с коррозионным разрушением металла труб, на магистральных газопроводах. На основании результатов вычислительных экспериментов установлено, что в климатических условиях Крайнего Севера для обеспечения стабильной глубины оттаивания грунта около действующего трубопровода теплоснабжения необходимо выбирать толщину теплоизоляции более 4 см.

Тепловое влияние подземного трубопровода на окружающие мерзлые грунты изучали при строительстве магистральных трубопроводов на территории Якутии. Были проведены расчеты ореола оттаивания грунтового основания трубопровода без учета теплоизоляции, которые позволяют оценить степень опасности участков. При строительстве на многолетнемерзлых грунтах применяется принцип I (ММГ основания используются в мерзлом состоянии) и принцип II (ММГ основания используются в оттаянном или оттаивающем состоянии). Нефте- и газопроводы относятся к линейным сооружениям, поэтому допускается их проектировать с применением на отдельных участках трассы разных

принципов использования многолетнемерзлых грунтов в качестве основания (П 25.13330).

При строительстве нефтепроводов и газопроводов сохранить грунты в вечномёрзлом состоянии на протяжении всего периода эксплуатации чрезвычайно сложно. В настоящее время для этого применяют специальные охлаждающие устройства и термостабилизаторы. Но порой, такие мероприятия являются не эффективными и дорогостоящими. Многолетнемерзлые глинистые и заторфованные грунты являются прочным основанием, при условии сохранения их в твердомерзлом состоянии. Но при оттаивании данные грунты, дают наибольшую осадку, так как характеризуются криогенными текстурами, включающие большое количество льда. Поэтому важной задачей является прогнозирование осадки грунтов при их оттаивании. При использовании ММГ по II принципу (с оттаиванием грунтов) для проектирования необходимо определение коэффициента оттаивания A_{th} и сжимаемости грунтов m . Согласно СП 11-105-97 часть IV эти показатели определяются как непосредственными лабораторными определениями, так и расчетным путем.

В лаборатории характеристики деформируемости определяют по результатам испытаний образцов грунта в компрессионных приборах (ГОСТ 12248), исключающих возможность бокового расширения образца при его нагружении вертикальной нагрузкой в оттаянном состоянии. Коэффициенты оттаивания A_{th} и сжимаемости при оттаивании m мерзлого грунта определяют по прямой наилучшего приближения к экспериментальным точкам, построенной графически или методом наименьших квадратов, так же как отрезок, отсекаемый этой прямой на оси ϵ_{th} и как тангенс угла ее наклона к оси p (рисунок 1).

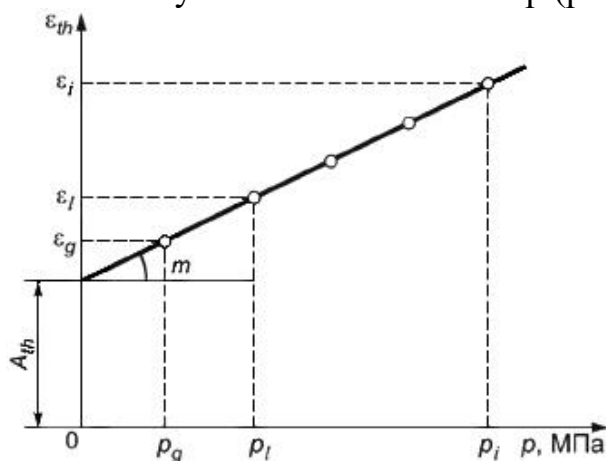


Рис. 1. Графическая зависимость между изменением относительного деформации образца ϵ_{th} от давления p в оттаивающем под давлением грунте (Мазуров Г.П., 1985)

Расчетным путем относительное сжатие грунтов при оттаивании можно определить по формулам:

1) относительное сжатие песчаных мерзлых грунтов при оттаивании под нагрузкой

$$\epsilon_{th} = \frac{(\rho_n - \rho_c)}{\rho_n} \quad (1)$$

Где ρ_n — плотность скелета оттаявшего грунта в максимально уплотненном состоянии,

ρ_c – плотность скелета грунта в природном мерзлом состоянии.

2) относительное сжатие просадочных глинистых мерзлых грунтов при оттаивании их под нагрузкой

$$\varepsilon_{th} = 1 - \rho_d \left[\frac{1}{\rho_s} + \frac{1}{\rho_b} * (W_p + k * I_p) \right] \quad (2)$$

Где k – коэффициент уплотняемости, принимаемый по таблицам в зависимости от среднего уплотняющего давления;

I_p – число пластичности, д.е.;

W_p – влажность на границе раскатывания, д.е.;

ρ_d – плотность сухого грунта, г/см³;

ρ_s – плотность частиц грунта, г/см³;

ρ_b – плотность воды, г/см³.

Расчет коэффициентов сжимаемости и оттаивания можно найти через относительное сжатие грунтов при оттаивании по формулам (10):

$$m = \frac{(\varepsilon_{thp2} - \varepsilon_{thp1})}{(p_2 - p_1)} \quad (3)$$

$$A_{th} = \varepsilon_{thp2} - m \cdot p_2 \quad (4)$$

Где $\varepsilon_{thp2}, \varepsilon_{thp1}$ – значения относительного сжатия, полученные при двух значениях уплотняющих давлений p_2 и p_1 .

При широком распространении торфяников на изучаемой территории, актуальной задачей является расчет осадки торфов при оттаивании. Обзор литературы показал, что вопросы прогнозирования свойств торфа при оттаивании рассмотрены не достаточно полно. Поэтому в данной работе рассмотрены вопросы прогноза осадки торфов при оттаивании, которые широко развиты в Ямало-Ненецком и Ненецком АО.

В качестве исходных данных использовались результаты лабораторных определений характеристик торфов по материалам инженерно-геологических изысканиям по обустройству месторождений – Харьягинское, Сюрхаратинское, Южно-Шапкинское, Айваседопурское, Ванкорское за 2012-2018гг. Определение характеристик производилось компрессионным испытанием по ГОСТ 12248-2010.

Торф (bQ) темно-коричневый, бурый, мохово-травяной слабо- и среднеразложившийся, реже сильноразложившийся, нормальнозольный, иногда высокозольный, сильнольדיстый и оченьсильнольдистый, пластичномерзлый, криогенная текстура в основном атакситовая, сетчатая, реже слоистая и массивная, незасоленный. По степени пучинистости торф сильнопучинистый и чрезмернопучинистый.

Болота на рассматриваемой территории низинного типа. Причинами заболачивания являются: зона избыточного увлажнения, равнинный рельеф, близкое залегание подземных вод.

Выборка состояла из 912 проб, из которых компрессионное сжатие при оттаивании определено в 70 случаях. По данным лабораторных исследований проведен вероятностно-статистический анализ, результаты которого представлены в таблице и на рисунках 2 и 3. Как видно из таблицы 1 наибольшая корреляци-

онная зависимость прослеживается между характеристиками компрессии при оттаивании и влажностью между включениями льда.

Таблица. Корреляционная матрица между характеристиками торфа (n=62)

	Средние	Стандартное отклонение	Коэффициент корреляции	
			Коэффициент оттаивания A_{th}	Коэффициент сжимаемости m
Суммарная влажность, д.е.	3,83	2,415	0,22	0,25*
Влажность между включениями льда, д.е.	1,47	0,745	0,53*	0,64*
Плотность грунта, г/см ³	0,99	0,082	-0,24	-0,20
*Отмеченные корреляции значимы при уровне $p=0,05$				

Диаграмма рассеяния коэффициента сжимаемости m и влажности между включениями льда W_m
 $m_i = 0,2567 + 0,3106x$



Рис. 2. Корреляционное поле точек рассеяния коэффициента сжимаемости и влажности между ледяными включениями торфов.

Диаграмма рассеяния коэффициента оттаивания A_{th} и влажности между ледяными включениями W_m
 $A_{th} = 0,228 + 0,0852x$

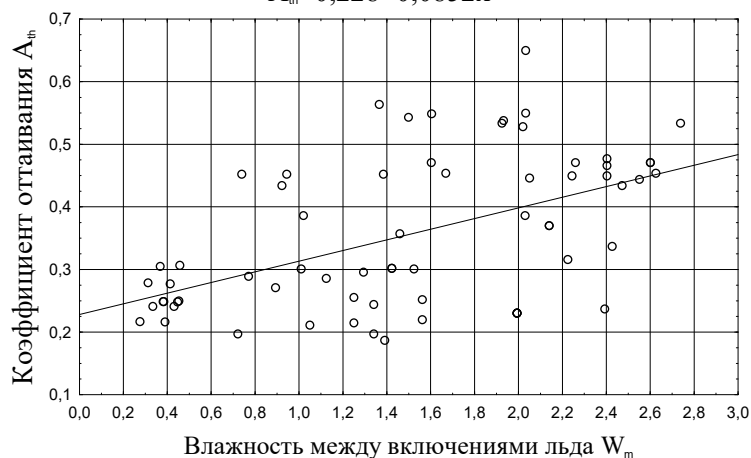


Рис. 3. Корреляционное поле точек рассеяния коэффициента оттаивания и влажности между ледяными включениями торфов.

На рисунках 2 и 3 представлены уравнения регрессии по которым можно дать прогноз значений коэффициент оттаивания (A_{th}) и коэффициент сжимаемости (m) торфа зная влажность между включениями льда. Для проверки уравнения вычисляется средняя квадратичная ошибка уравнения регрессии S_e , которая представляет собой среднее квадратичное отклонение фактических значений y_i , относительно значений, рассчитанных по уравнению регрессии \hat{y}_i . Проверка значимости уравнений регрессии показала, что параметр S_e меньше среднеквадратического отклонения исходных данных, поэтому использование уравнения регрессии является целесообразным.

Выводы

1. При эксплуатации трубопроводов в криолитозоне в результате их теплового воздействия на многолетнемерзлые грунты происходит оттаивание и значительное снижение несущей способности массива грунта.

2. Выявленная зависимость осадки при оттаивании от влажности между включениями льда в торфе (с коэффициентом корреляции 0,53 и 0,64) позволила разработать прогнозные математические модели, позволяющие по данным влажности между включениями льда прогнозировать коэффициенты оттаивания и сжимаемости торфов при их оттаивании.

3. Проверка адекватности уравнения показала, что данные уравнения можно использовать при проектировании для предварительных расчетов.

Библиографический список:

1. Димухаметов М.Ш., Димухаметов Д.М. Физико-механические свойства заторфованных грунтов камской долины г. Перми и их изменение в результате действия пригрузки // Вестник Пермского университета. Геология. 2009. № 11. С. 94–107.
2. Коноплев А.В., Красильников П.А. Районирование территории Пермского края по величине природно-ресурсного потенциала на основе ГИС-технологий // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. 2009. № 3 (17). С. 150–156.
3. Красильников П.А., Коноплев А.В., Хронусов В.В., Барский М.Г. Геоинформационное обеспечение экономической оценки природно-ресурсного потенциала территорий Пермского края // Экономика региона. 2009. № 1 (17). С. 143–151.
4. Чемус А.А., Березнев В.А. Освоение территорий с распространением специфических грунтов // Вестник Пермского университета. Геология. 2011. № 3. С. 33–36.

ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОМОРФОЛОГИЯ И ГЕОДИНАМИКА ТЕРРИТОРИИ АМУРСКОГО ГАЗОХИМИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

Рассмотрены инженерно-геоморфологические и геодинамические условия территории Амурского газохимического комплекса. Выделены и описаны морфоструктурные и геодинамические зоны. Отмечается высокая геодинамическая активность горного массива на поверхности, которой проектируется строительство газохимического комплекса.

Ключевые слова: геодинамика, геоморфология, инженерные изыскания, Амурский газохимический комплекс.

V.V. Oborin¹, I.S. Kopylov²

¹ LLC «Zapuralgidrogeologiya», Perm

² Perm State University, georif@yandex.ru

ENGINEERING GEOMORPHOLOGY AND GEODYNAMICS OF THE TERRITORY OF AMURSKY GAS-CHEMICAL COMPLEX

Engineering-geomorphological and geodynamic conditions of the Amur gas chemical complex are considered. Morphostructural and geodynamic zones are identified and described. There is a high geodynamic activity of the mountain massif on the surface, which is projected to construct the gas chemical complex.

Key words: geodynamics, geomorphology, engineering surveys, Amur gas chemical complex.

Амурский газохимический комплекс (АГХК) – крупнейший строительный проект России (СИБУР) по производству полиэтилена, где планируется перерабатывать ценные фракции, выделенные из природного газа, добытого на месторождениях Якутского центра газодобычи. Основным поставщиком сырья для АГХК станет Амурский газоперерабатывающий завод Газпрома, который будет построен в рамках поставок газа в Китай по газопроводу «Сила Сибири». АГХК планируется запустить не ранее 2021 г., (окончательное решение по его строительству будет принято в середине 2019 г.). Объект АГХК расположен в 15 км северо-восточнее г. Свободный Амурской области, в междуречье рек Пера и Зея.

В 2018 г. ООО ПСП «Автомост» выполнены инженерно-геологические изыскания на объекте «Подъездные автодороги к основной площадке АГХК в составе проекта «Амурский газохимический комплекс». Проведены рекогносцировочное обследование всей территории с маршрутными наблюдениями и профильное бурение мелких скважин с опробованием. Объект АГХК был условно подразделен на более мелкие объекты: площадка строительства АГХК, пло-

щадка полигона КиПО, коммуникации и подъездные пути к полигону КиПО (трассы газопровода, коллектора и ВЛ-10 кВ, трасса подъездной автодороги) (Оборин, Копылов, 2018, 2019).

По структурно-тектоническому районированию объект АГХК находится в Зее-Буреинской мезо-кайнозойской впадине выполненной отложениями терригенно-карбонатной молассовой формации палеоген-неогенового возраста, залегающей на размытой поверхности более древних пород. Нижняя часть формации представлена бузулинской свитой ($P-N_1 bz$), сазанковской свитой ($N_1 sz$); верхняя: белогорской свитой ($N_2-Q_1 bl$) (Васькин, 1986).

Четвертичные отложения представлены, в основном, породами аллювиального генезиса, незначительную часть в объеме плейстоцена представлены породы склонового и элювиального генезиса. На участке изысканий принимают участие четвертичные аллювиальные (суглинки; супеси; пески средней крупности и крупные), делювиальные (супеси) и неоген-четвертичные (пески средней крупности и крупные) отложения и органоминеральные отложения (суглинки с примесью торфа). К специфическим грунтам относятся техногенные грунты. Данные грунты имеют ограниченное распространение. К прогнозируемым опасным процессам относятся: морозное пучение грунтов и наледообразование. Нормативная глубина промерзания грунтов для суглинков составляет 2,48 м, для супесей – 3,05 м, для песков средней крупности – 3,26 м, для песков крупных – 3,58 м.

Анализ инженерно-геологической, геоморфологической и геодинамической обстановки проведен по результатам инженерно-геологической рекогносцировки, маршрутных наблюдений и предварительного дешифрирования материалов аэрокосмической съемки (МАКС). Методика дешифрирования и обработки данных МАКС приведена в работах (Гудилин И.С., Комаров, 1978; Копылов, 2014, 2018; Оборин, Копылов, 2018 и др.).

В пределах территории исследуемого объекта АГХК выделяются морфоструктурные зоны:

- денудационно-аккумулятивная равнина (ДАР)
- эрозионно-аккумулятивная равнина (ЭАР)
- аллювиальная аккумулятивная равнина (ААР)

1. Площадка строительства АГХК

Площадка строительства АГХК представляет собой суффозионный горный массив с широко развитыми суффозионно-просадочными формами рельефа: суффозионными долинами; логами; промоинами; воронками; блюдцами; небольшими котловинами, изометричной или линейной формы. Очень характерно для изученной территории широкое распространение лёсса и лёссовидных суглинков. Мощность данного горизонта наблюдалась в прилегающих к объекту обнажениях и достигает до 0,4-3,5 м. Ориентировочные размеры площадки 2 x 3 км.

Расположена на поверхности ДАР (100 % всей площади) и включает следующие морфоскульптурные элементы рельефа:

- водоразделы (водораздельные площадки);
- склоны водоразделов;

- присклоновая равнина;
- геодинамические активные зоны (ГАЗ).

Водоразделы (водораздельные площадки)

Сравнительно небольшие по занимаемой площади, субгоризонтальные, относительно ровные площадки, являют собой реликты древнего пенеплена. В большинстве своем заняты сельхозугодьями (пашнями). Имеют фрагменты структурных линий сочленения водоразделов со склонами водоразделов и присклоновыми равнинами. Это линии перегиба субгоризонтальной поверхности со склоном, имеющего повышенный угол падения. По этим структурным линиям проходит граница густой древесно-кустарниковой растительности характерной для склонов водоразделов. Для водоразделов характерно широкое распространение лёсса.

Склоны водоразделов

Сложнопостроенные, террасированные, разнонаклонные поверхности. Склоны водоразделов (увалов, сопок) имеют в большинстве своем вогнутый поперечный профиль за счет нисходящего (по В. Пенку) развития рельефа региона при длительной аккумулятивной фазе последнего тектоно-климатического этапа (N-Q), когда базис денудации в течении длительного времени сохранял стабильное положение. Склоны имеют углы падения: от 3° в приводораздельной; 10-15° в срединной и 5-7° в приподошвенной части склона. Характерная особенность морфологии склонов: повсеместное развитие склоновых террас литоморфного генезиса, различной формы и размерности, хаотичность распределения в пространстве, Углы падения: уступов террас от 15° до 25°; поверхности террас до 5°. Ширина и длина террас различна. Террасы, несомненно, имеют литоморфный генезис, что имеет подтверждение в многочисленных образцах каличе (известковая кора выветривания) силицитов, сиаллитов, железомарганцевых конкреций и силицизированных конгломератов; глинистых сидеритов, обнаруженных при бурении и описанных в полевой документации.

Присклоновая равнина

Пологонаклонная, относительно ровная, поверхность присклоновой равнины примыкает: к водоразделам, к склонам водоразделов и имеет важное значение для проектирования будущих объектов АГХК. Сочленение с вышележающими элементами рельефа происходит через малозаметный, фрагментарно отслеживающийся перегиб. Углы падения поверхности: до 3° в приводораздельной части; до 5-7° в приподошвенной. Большая часть равнины занята под сельхозугодьями (пашней). На её поверхности фиксируются небольшие, плохосформированные (малоактивные) элементы суффозионной деятельности: небольшие лога, промоины, микрозападины изометричной формы. Присклоновая равнина, в пределах АГХК, расчленена на несколько фрагментов линейными геодинамическими активными зонами.

Геодинамические активные зоны

Геодинамические активные зоны (ГАЗ) для АГХК имеют важное значение — они определяют геодинамику горного массива. По методике и классификации, подробно изложенных в работах (Копылов, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015) относятся к классу локальных зон II-III порядка, ранг 8-9. Рекогносцировочными

обследованиями выявлены несколько крупных ГАЗ: северная, центральная, южная.

Северная ГАЗ имеет северо-восточное направление, линейная, ширина до 170-200 м. В западной части имеет наиболее современные формы рельефа. По всей протяженности наблюдаются свежие суффозионно-просадочные формы рельефа, хорошо выраженные тальвеги в суффозионных долинах, крутые борта долин, свежие котловины: заболоченные, переувлажненные со следами морозного пучения. В момент обследования сезономерзлые грунты имели мощность от 1,7 до 2,5 м.

Центральная ГАЗ имеет основное направление западно-восточное, линейная, ширина 80-200 м, прослеживается через всю площадку АГХК. В западной части имеет наиболее свежие, разнообразные суффозионно-просадочные формы, хорошо разработанные суффозионные лога с крутыми бортами, заболоченные котловины, переувлажненные низины с повсеместными формами морозного пучения. Центральная ГАЗ наиболее геодинамически активна, требует детального обследования. Мощность сезономерзлых грунтов, в зависимости от экспозиции, достигает 3,0 м.

Южная ГАЗ имеет северо-восточное направление, линейная. Следует отметить, что южная ГАЗ наименее геодинамически активна, формы рельефа выложенные, зрелые.

2. Площадка полигона КиПО

Расположена на поверхности эрозионно-аккумулятивной равнины (ЭАР). Представляет пологонаклонную поверхность, имеющую углы падения 3-5°, осложненную суффозионными разноразмерными формами.

Площадка полигона КиПО на севере примыкает к денудационно-аккумулятивной равнине (ДАР), и непосредственно сочленяется со склонами водоразделов через неясновыраженный тыловой шов. Местоположение тылового шва хорошо трассируется по резкой смене древесно-кустарниковой растительности (монгольский дуб, береза, осина, лещина, акация и др.), на травянистую с редколесьем. Очень характерно для всего полигона широкое развитие мерзлотных полигональных форм – кочкарник. Это ландшафтный индикатор зон избыточного увлажнения, заболачивания и морозного пучения. На всей поверхности полигона фиксируются разномасштабные суффозионно-просадочные формы: западины; ложки шнуровидной формы; суффозионные котловины и др. На южном и юго-восточном, восточном флангах полигона углы падения заметно увеличиваются и достигают до 10-15°, особенно на участках сочленения с суффозионными долинами в геодинамических активных зонах, примыкающих к полигону с востока и юга (Оборин, Копылов. 2018, 2019).

3. Коммуникации и подъездные пути к полигону КиПО (трассы газопровода, коллектора и ВЛ-10 кВ, трасса подъездной автодороги)

Это линейный объект инженерно-геологических изысканий соединяющий два площадных объектов: площадки строительства АГХК и площадки полигона КиПО.

Данный объект инженерно-геологических изысканий расположен в выделенных морфоструктурных зонах:

- денудационно-аккумулятивной равнине (ДАР) – западная часть исследуемой территории объекта, примыкающая к площадке АГХК;
- аллювиально-аккумулятивная равнина (ААР) – центральная часть исследуемой территории объекта расположенной в долине р. Зея;
- эрозионно-аккумулятивная равнина (ЭАР) – восточная часть исследуемой территории объекта, примыкающая к полигону КиПО.

В зоне ДАР выделяются следующие морфоскульптурные элементы рельефа:

- присклоновая равнина;
- приподошвенная часть склонов водоразделов.

В зоне ААР выделен как единый морфоскульптурный элемент рельефа

пойма р. Зея. Пойма р. Зея условно разделяется на низкую (динамическую) и высокую пойменные террасы. На поверхности пойменных террас широко представлены пойменные элементы рельефа:

- брошенные русла с многочисленными рукавами;
- многочисленные старицы;
- пойменные озера различного размера и формы;
- старичные западины и заболоченные низины с полигональными формами морозного пучения;
- прирусловые валы веерообразной формы создающих сегментный рисунок поймы, отдельные крупные прирусловые валы саблевидной формы заросшие древесной растительностью (в основном березой);
- эрозионные останцы надпойменных террас.

В зоне ЭАР выделяются морфоскульптурные элементы рельефа:

- присклоновая равнина;
- геодинамическая активная зона.

Прогноз опасных и неблагоприятных природных и инженерно-геологических процессов и явлений

Основные природно-геологические особенности объекта АГХК:

- высокая сейсмичность района с оценкой 6 баллов (карта ОСР-2015В) и 7 баллов (карта ОСР-2015С);
- климатическая специфика региона: климат континентальный с муссонными сезонами.
- АГХК проектируется на поверхности горного массива, для которого характерны суффозионно-просадочные процессы;
- характерно широкое распространение (плащеобразное) залегание лёссовидных грунтов;
- наличие неотектонических нарушений, геодинамических активных зон и узлов; необследованная, сложно-прогнозируемая геодинамика горного массива АГХК;

Прогноз опасных и неблагоприятных природно-геологических процессов и явлений:

- активизация суффозионно-просадочных процессов и формирование свежих, новообразованных форм;
- заболачивание на развивающихся новообразованных суффозионных форм (котловинах, западинах), это последствие выщелачивания карбонатов, кольма-

тирование и формирование в днищах понижений локальных водоупоров, где слабая сточность атмосферных вод, и пониженная фильтрационная способности создают условия избыточного переувлажнения.

- активное поступательное развитие процесса морозного пучения грунтов;
- дефлюкция сопровождающая техногенную деятельность;
- расширение переувлажненных участков, заболачивание в т.ч. в долине р. Зeya при катастрофических наводнениях;
- подтопление грунтовыми водами;
- необратимые последствия техногенной деятельности: снятия ПРС, подрезка и обнажения крутых склонов, вывод на дневную поверхность природного горного массива и как следствие: техногенная активизация термокарста, псевдокарста (суффозионно-просадочного процесса), интенсивное развитие денудационно-эрозионных процессов на склонах (Оборин, Копылов. 2018).

Заключение

Район исследований характеризуется сложной геодинамикой горного массива и низкой устойчивостью к техногеологическим и гидрометеорологическим процессам. Согласно приложениям: Б СП 11-105-97 и А СП 47.13330.2012 обследованный объект отнесен к III категории сложности инженерно-геологических условий.

По предварительному анализу МАКС выявлено большое количество неотектонических линеаментов, формирующих по сгущению линейные зоны тектонической трещиноватости, которые классифицируются как геоактивные зоны. Для дальнейшего изучения инженерно-геологических условий необходимо провести комплекс детальных (масштаба 1:25 000) инженерно-аэрокосмогеологических изысканий и линеаментно-геодинамического анализа с целью оценки геодинамической активности района и картирования мобильных геодинамических зон с повышенным уровнем техноприродных рисков (Оборин, Копылов, 2019).

Учет геодинамической активности (неотектонических нарушений и линеаментной сети) на стадии проектирования позволит в значительной мере снизить риски возникновения аварийных ситуаций при строительстве и эксплуатации объектов.

Библиографический список:

1. Гудилин И.С., Комаров И.С. Применение аэрометодов при инженерно-геологических и гидрогеологических исследованиях. М.: Недра, 1978, 319 с.
2. Геологическая карта масштаба 1:200 000. Лист М-52-III / А.Ф. Васькин. ВСЕГЕИ, 1986.
3. Копылов И.С. Аэрокосмогеологические методы для оценки геодинамической опасности на закарстованных территориях // Современные наукоемкие технологии. 2014. № 6. С. 14–19.
4. Копылов И.С. Влияние геодинамики и техногенеза на геоэкологические и инженерно-геологические процессы в районах нефтегазовых месторождений Восточной Сибири // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 3.
5. Копылов И.С. Геоэкология нефтегазоносных районов юго-запада Сибирской платформы: монография / Перм. гос. нац. иссл. ун-т. Пермь, 2013. 166 с.
6. Копылов И.С. Инженерно-геологическая роль геодинамических активных зон // Успехи современного естествознания. 2014. № 5–2. С. 110–114.

7. *Копылов И.С.* Ландшафтно-геодинамический анализ при поисках нефти и газа: монография. LAP LAMBERT Academic Publishing. Riga, 2018.
8. *Копылов И.С.* Основные фундаментальные и прикладные направления в изучении геодинамических активных зон // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2015. № 8-1. С. 82–86.
9. *Копылов И.С.* Теоретические и прикладные аспекты учения о геодинамических активных зонах // Современные проблемы науки и образования. 2011. № 4.
10. *Оборин В.В., Копылов И.С.* Инженерно-геокриологические и геодинамические условия территории Амурского газохимического комплекса // Геоэкология, инженерная геодинамика, геологическая безопасность (Электронный ресурс): сб. науч. ст. по материалам Междунар. науч.-практ. конф. / гл. ред. И. С. Копылов; Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Электрон. дан. Пермь, 2019.
11. *Рабочий отчет по рекогносцировочным обследованиям и маршрутным наблюдениям на объекте «Амурский газохимический комплекс (ГХК)» проведенный совместно с инженерно-геологическими изысканиями в апреле-июне 2018 г.* / В.В. Оборин, И.С. Копылов. Пермь, 2018.

**А.Д. Деменев, В.Т. Хмурчик, Н.Г. Максимович,
Е.П. Катаева, А.М. Сединин**
ПГНИУ, demenevartem@gmail.com

ГЕОТЕХНИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПЕСЧАНЫХ ГРУНТОВ И РАСТВОРА ХЛОРИДА ЖЕЛЕЗА (III)

Метаногенез в грунтовых массивах является одним из наиболее нежелательных микробиологических процессов, т.к. может негативно воздействовать на напряженное состояние грунтов, а также на их физико-механические свойства. Предложен биотехнологический метод подавления повышенной газогенерации за счет добавления раствора хлорида трехвалентного железа (FeCl_3) в грунтовый массив. Проведено углубленное изучение влияния этого раствора на песчаные грунты. В статье приводятся основные результаты экспериментальных работ и физико-механических испытаний грунтов при их обработке веществом-ингибитором.

Ключевые слова: свойства грунтов, метаногенез, биотехнология, обработка грунтов, безопасная эксплуатация сооружений.

A.D. Demenev, V.T. Khmurchik, N.G. Maksimovich, E.P. Kataeva, A.M. Sedinin
Perm State University, demenevartem@gmail.com

THE GEOTECHNICAL PARAMETERS OF SANDY SOILS UNDER THE TREATMENT WITH FeCl_3 SOLUTIONS

Methanogenesis in the soils is one of the most undesirable microbiological processes because it can negatively affect the stress state of the soils and to geotechnical properties. A biotechnological method for suppressing increased gas generation by using a solution of FeCl_3 is suggested. The detailed study of the effect of this solution to sandy soils was conducted. The

article presents the main results of experimental research and geotechnical testing of soils when they are treated with an inhibitor substance.

Key words: Soil properties, methanogenesis, biotechnologies, treatment of soil, safety operation of construction.

Основными элементами грунтов являются твердые минеральные частицы, вода и газ. Свойства грунтов зависят от состава всех его компонентов их соотношения и взаимодействия. Также в грунтах разного генезиса широко распространены микроорганизмы, их численность в среднем в пересчете на 1 г субстрата находится в пределах 10^5 - 10^7 . Активность микробиоты может привести к преобразованию твердой, жидкой и газовой составляющей вещества, а также к ряду негативных явлений и трудно прогнозируемым последствиям (Дашко, 2014; Maksimovich, 2019; Demenev, 2019).

Комплекс натурных наблюдений на территории грунтового массива (грунтовой плотины), расположенного на территории г. Перми в зоне активной техногенной нагрузки, показал развитие ряда микробиологических процессов: аэробного и анаэробного метаболизма (нитрификация, железоредукция, сульфатредукции, метаногенез. Активное протекание микробиологических процессов может воздействовать на напряженное состояние грунтов, а также на их физико-механические свойства (Кузнецов, 1965; Максимович, 2013, 2014, 2015; Радина, 1973; Болотина, 1987; Дашко, 2014). С точки зрения безопасной эксплуатации инженерных сооружений микробиологический процесс метаногенеза в грунтовых массивах является одним из наиболее нежелательных. Метан мало растворим в воде и в анаэробных условиях может накапливаться в газовой фазе, изменяя при этом напряженное состояние грунта, ведущее к его постепенному разуплотнению (Радина, 1973).

При проведении газогеохимических исследований в районе грунтового массива были отмечены высокие концентрации метана (среднее значение – 721 ppm, с очагами до 12000 ppm) и диоксида углерода (среднее значение – около 9700 ppm, с очагами до 52000 ppm). В качестве наиболее вероятных источников данных компонентов являются процессы биохимического преобразования рассеянного органического вещества. При этом не исключается поступление этих компонентов из нижележащих отложений. Одним из факторов, влияющих на повышенные концентрации газов в грунтовом массиве, может быть наличие торфа, так в пробуренных скважинах было отмечено присутствие торфа и заторфованных грунтов различной мощностью до 2 м.

В микробиологических исследованиях для подавления нежелательной активности микроорганизмов принято использовать специальные вещества-ингибиторы бактериальных процессов. Подавление микробиологического процесса метаногенеза – технически сложный и экономически затратный процесс, предполагающий использование таких веществ, как 2-бромэтансульфоновая кислота, либо токсичные для окружающей среды хлорзамещенные аналоги метана – хлороформ, четыреххлористый углерод, хлористый метилен (Максимович, 2019). При этом полного ингибирования процесса удастся достичь не всегда (Oremland, 1988).

По ряду причин было принято решение (Максимович, 2019) использовать безопасный для окружающей среды биотехнологический подход подавления метаногенеза. В настоящее время применение биотехнологических методов для решения прикладных проблем в области инженерной геологии и геотехнике набирает все большую значимость, в частности, для улучшения механических свойств грунтов (Almajed, 2019).

Такой подход обладает рядом преимуществ и заключается в активизации той части микробного сообщества грунтового массива, которое будет осуществлять процесс, конкурирующий с метаногенезом (Заварзин, 2001; Lovley, 1987; Максимович, 2019). Для этого необходимо создать благоприятные условия для развития соответствующего микробного сообщества с помощью внесения соединений, которые будут играть роль акцепторов электронов при анаэробном разложении органического вещества (Achtnich, 1995; Chidthaisong, 2000; Klüber, 1998; Lovley, 1986; Roden, 2003).

Добавление соединений железа считается подходящей стратегией для снижения эмиссии метана (Jäckel, 2005; Vodegom, 2004). Восстановление соединений трехвалентного железа, железоредукция, также является более термодинамически выгодным для микробного сообщества процессом, чем метаногенез. В ходе процесса не образуются как токсичные, так и газообразные продукты. Процесс восстановления железа способен полностью подавить метаногенез и обнаруживается во многих природных средах, то есть естественен для окружающей среды. Для протекания данного процесса необходимо наличие в среде ионов трехвалентного железа, которые можно внести в виде водорастворимых солей. Поскольку для железа также существуют нормативы по его содержанию в воде, то необходимо использовать минимально возможные концентрации, которые были бы достаточны для подавления метаногенеза (Максимович, 2019).

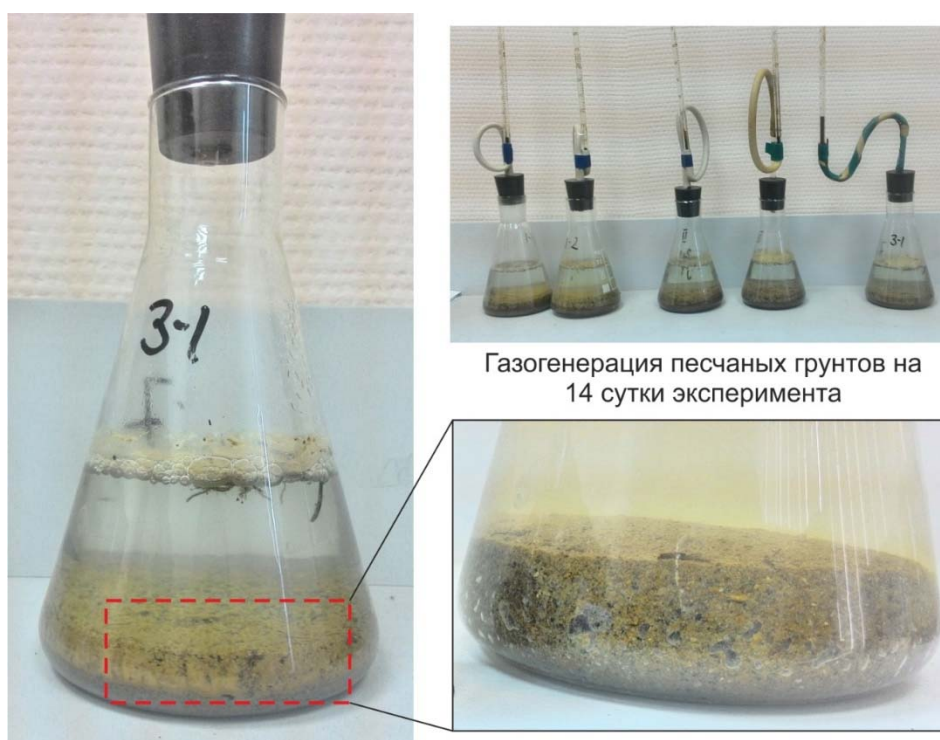


Рис.1. Биогенное образование метана в песчаных грунтах без внесения раствора FeCl_3

Наиболее оптимальным реагентом для замещения бактериального процесса метаногенеза, на наш взгляд, является хлорид трехвалентного железа (FeCl_3). Проведенные экспериментальные исследования показали высокую эффективность его использования для подавления процессов метаногенеза в песчаных грунтах (Максимович, 2019).

В связи с этим потребовалось углубленное изучение влияния раствора хлорида железа (III) на прочностные характеристики песков.

Изменение микроструктуры высокодисперсных грунтов от состава обменных катионов связано с возникновением и распадом микроагрегатов. Это может сказаться при искусственном насыщении грунта, каким либо одним катионом, в растворах с крайне высокой его концентрацией. Одновалентные ионы (особенно имеющие малый ионный радиус и большие гидратные оболочки – Li^+ , Na^+) резко увеличивают дисперсность грунта, а двух- и трехвалентные катионы снижают её (Ca^{2+} , Fe^{3+}) (Сергеев, 1971).

Влияние обменных катионов на содержание в грунтах связной воды, характер микроструктуры и микротекстуры и свойства грунтов значительно больше в том случае, когда в глинистой фракции содержатся минералы с раздвижными кристаллическими решетками, имеющие большую емкость катионного обмена (монтмориллонит); при содержании в глинистой фракции минералов с жесткими межпакетными связями, имеющие малую емкость катионного обмена (каолинит, гидрослюда) роль обменных катионов в указанном отношении становится второстепенной. Катионы Fe^{3+} имеют наибольшую способность к замещению других ионов, в связи с достаточно большим ионным радиусом. Однако ион, который по своему размеру лучше подходит к кристаллической решетке минерала, легче замещает ионы с менее подходящими размерами (Трофимов, 2005).

Объектом обработки веществом-ингибитором микробиологических процессов являются грунты изучаемого массива – пески средние и мелкозернистые, т.е. грунты с относительно низким содержанием глинистой фракции. В связи с тем, что наибольшая интенсивность процессов ионного обмена характерна для высокодисперсных грунтов с раздвижными кристаллическими решетками, значительного воздействия при внесении вещества-ингибитора в песчаные грунты не прогнозируется. Также стоит учесть, факт того, что рекомендуемое количество вещества-ингибитора в вносимом растворе имеет относительно невысокие расчетные концентрации при сравнении с фоновыми показателями.

Для определения потенциального воздействия вещества-ингибитора (FeCl_3) микробиологических процессов на песчаные грунты были проведены экспериментальные исследования, имитирующие обработку грунтового массива. Концентрация FeCl_3 в вносимом растворе была увеличена в 2 раза по сравнению с расчетным количеством (с 5 мг/дм^3 до 10 мг/дм^3) для более показательной оценки возможного воздействия хлористого железа на геотехнические параметры песков.

В настоящем эксперименте в первую очередь представляет интерес потенциальное изменение сцепления и угла внутреннего трения песчаных грунтов, т.к. эти показатели напрямую влияют на устойчивость откосов и, следовательно, безопасную эксплуатацию инженерных сооружений и массивов. Песчаные грунты доводились до полного водонасыщения тремя различными растворами:

- речной водой с концентрацией FeCl_3 – 0 мг/дм³ (контроль – образцы 1,2);
- речной водой с концентрацией FeCl_3 – 10 мг/дм³ (образцы 3,4);
- дистиллированной водой с концентрацией FeCl_3 – 10 мг/дм³ (образцы 5,6).

Обработка грунтов (рис. 1) проводилась в течение 7 суток, после чего образцы передавались в грунтовую для последующих физико-механических испытаний, результаты экспериментальных исследований представлены в Таблице.



Рисунок 2 – Обработка грунтов веществом-ингибитором (FeCl_3)

По результатам экспериментальных исследований было установлено, что внесение увеличенной в 2 раза концентрации (с 5 мг/дм³ до 10 мг/дм³) вещества-ингибитора в песчаные грунты не оказывает существенного негативного влияния на прочностные свойства грунтов. Наиболее приближенными к естественным условиям являются эксперименты с образцами 3 и 4, т.к. в основе раствора используется вода, отобранная из р. Кама в районе г. Перми. Сцепление грунтов образцов 1 и 2 увеличилось с 0,001-0,004 МПа до 0,003-0,007 МПа у образцов 3 и 4, угол внутреннего трения увеличился с 40-41 град. до 46-57 град. соответственно. Стоит отметить, что в естественных условиях при внесении в грунтовый массив веществ-ингибиторов ожидается еще меньшее воздействие, т.к. рекомендуемые концентрации внесения FeCl_3 составляют половину от лабораторного эксперимента, а также внесенное вещество будет подвергаться более интенсивному разбавлению. Также в случае обработки грунтового массива рекомендуется провести дополнительные физико-механические испытания грунтов до и после обработки веществом ингибитором, а также оценить изменение фильтрационных характеристик.

Таблица. Прочностные и физические свойства песка средней крупности после обработки

№ Образца	Влажность, д.е. естественная	Коэффициент водонасыщения, д.е.	Плотность, г/см ³			Коэффициент пористости	Сцепление, МПа	Угол внутреннего трения, град.
			частиц грунта	грунта природная	сух. грунта			
		S _r	ρ _s	ρ	ρ _d	e	C	φ
1	0,197	1,020	2,64	2,09	1,75	0,509	0,002	40
2	0,225	0,970	2,64	2,01	1,64	0,610		41
3	0,243	0,970	2,64	1,98	1,59	0,660	0,005	46
4	0,249	1,060	2,64	2,04	1,63	0,620		57
5	0,247	1,050	2,64	2,03	1,63	0,620	0,004	59
6	0,253	1,060	2,64	2,03	1,62	0,630		60

Таким образом, биотехнологический метод подавления биогенного метанообразования в песчаных грунтах обладает рядом преимуществ, безопасен для окружающей среды и не ведет к значительным изменениям свойств песчаных грунтов. Предлагаемый подход может быть использован в зонах активного техногенного воздействия на грунтовые массивы, где наблюдаются интенсивные процессы биогенной газогенерации. Однако для каждого конкретного объекта рекомендуется проводить аналогичные детальные исследования по изучению воздействия вносимых растворов на геотехнические параметры грунтовых массивов.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-35-00042.

Библиографический список:

1. Болотина И.Н., Сергеев Е.М. Микробиологические исследования в инженерной геологии // Инженерная геология, № 5, 1987. С. 3–17.
2. Дашко Р.Э., Власов Д.Ю., Шидловская А.В. Геотехника и подземная микробиота // СПб.: типография «МСТ», 2014. 280 с.
3. Заварзин Г.А., Колотилова Н.Н. Введение в природоведческую микробиологию. М., Книжный дом «Университет», 2001. 256 с.
4. Кузнецов, А.М. О газовых явлениях в основании бетонных плотин // Гидротехническое строительство, № 10, 1965. С. 33-37.
5. Максимович Н.Г., Хмурчик В.Т. Микробиологические процессы в грунтовых плотинах // Инженерные изыскания, № 9, 2013. С. 46–51.
6. Максимович Н.Г., Хмурчик В.Т., Лаздовская М.А., Деменев А.Д. Комплекс методов исследования микробиологической активности в грунтовых плотинах // Вестник СПбГУ. Сер. 7. Геология, география, № 4, 2014. С. 88-100.
7. Максимович Н.Г., Хмурчик В.Т., Деменев А.Д. Роль микроорганизмов в повышении мутности дренажных вод плотины // Гидротехническое строительство, № 11, 2015. С. 84–86.
8. Радина В.В. Роль микроорганизмов в формировании свойств грунтов и их напряженного состояния // Гидротехническое строительство, № 9, 1973. С. 22–24.
9. Грунтоведение. Изд-е 3-е // под ред. Е. М. Сергеева. М.: Изд-во МГУ, 1971. 295 с.

10. Грунтоведение. Изд-е 2-е, переработанное и дополненное // под общ. ред. В.Т.Трофимова. М.: Наука, 2005. 1024 с.
11. *Almajed A., Khodadadi Tirkolaei H., Kavazanjian E., Hamdan N.* Enzyme Induced Biocementated Sand with High Strength at Low Carbonate Content // *Nature*, vol 9, 2019.
12. *Achtnich C., Bak F., Conrad R.* Competition for electron donors among nitrate reducers, ferric iron reducers, sulfate reducers, and methanogens in anoxic paddy soil // *Biol Fert Soils*, 19, 1995. P. 65–72.
13. *Chidthaisong A., Conrad, R.* Turnover of glucose and acetate coupled to reduction of nitrate, ferric iron, and to methanogenesis in anoxic field soil // *FEMS Microbial Ecol*, vol. 31, 2000. P. 73–86.
14. *Demenev A.D., Maksimovich N.G., Khmurchik V.T., Sedinin A.M.* Microbial Changes of the Earth Dam Mechanical Properties and the Improvement of Them // *IAEG/AEG Annual Meeting Proceedings San Francisco, California*, vol 4, 2019. P. 41–45.
15. *Jäckel U., Russo S., Schnell S.* Enhanced iron reduction by iron supplement: A strategy to reduce methane emission from paddies // *Soil Biology and Biochemistry*, vol. 37, 2005. P. 2150–2154.
16. *Klüber H.D., Conrad R.* Effects of nitrate, nitrite, NO and N₂O on methanogenesis and other redox processes in anoxic rice field soil. *FEMS Microbiol Ecol*, vol. 25, 1998. P. 301-318.
17. *Lovley D.R., Phillips E.J.P.* Organic Matter Mineralization with Reduction of Ferric Iron in Anaerobic Sediments // *Appl. Environ. Microbiol.*, vol. 51, no. 4, 1986. P. 683–689.
18. *Lovley D.R., Phillips E.J.P.* Competitive Mechanisms for Inhibition of Sulfate Reduction and Methane Production in the Zone of Ferric Iron Reduction in Sediments // *Applied and Environmental Microbiology*, vol. 53, no. 11, 1987. P. 2636–2641.
19. *Maksimovich N.G., Khmurchik V.T., Demenev A.D., Sedinin A.M.* Microbial Activity Within the Earth Dam: Consequences and the Suppression Strategy // *IAEG/AEG Annual Meeting Proceedings, San Francisco, California*, vol 4, 2019. P. 3–7.
20. *Oremland R.S., Capone D.G.* Use of “specific” inhibitors in biogeochemistry and microbial ecology // *Advances in Microbial Ecology*, vol. 10, 1988. P. 285–383.
21. *Roden E.E., Wetzel R.G.* Competition between Fe (III)-Reducing and Methanogenic Bacteria for Acetate in Iron-Rich Freshwater Sediments. *Microb Ecol*, vol. 45, 2003. P. 252-258.
22. *Van Bodegom Peter M., Scholten Johannes C.M., Stams Alfons J.M.* Direct inhibition of methanogenesis by ferric iron // *FEMS Microbiology Ecology*, vol. 49, 2004. P. 261–268.

ЛАБОРАТОРНЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ ПО НЕЙТРАЛИЗАЦИИ КИСЛЫХ ГРУНТОВ ОТХОДАМИ ПРОИЗВОДСТВА СОДЫ

В период откачки и сброса шахтных вод на земную поверхность сформировались участки негативного воздействия кислых растворов на биотические и абиотические компоненты окружающей среды. В статье показаны результаты лабораторных исследований по нейтрализации кислых грунтов отходами производства соды. Этот метод является эффективным и экономически выгодным для рекультивации территорий воздействия кислых шахтных вод.

Ключевые слова: рекультивация, лабораторные исследования, кислые грунты, отходы содового производства

LABORATORY TESTS ON THE NEUTRALIZATION OF ACID SOILS BY WASTE PRODUCTION SODA

During the period of pumping and dumping of mine waters onto the earth's surface, areas of negative impact of acidic solutions on biotic and abiotic components of the environment were formed. The article shows the laboratory studies results of the acid soils neutralization with soda production waste. This method is effective and cost-effective for the remediation of areas affected by acid mine waters.

Key words: reclamation, laboratory tests, acid soils, waste soda production

Старейший на Урале Кизеловский угольный бассейн, где добыча угля началась еще в конце XVIII века, расположен на территории Пермского края. Бассейн вытянут узкой полосой в меридиональном направлении, и имеет протяженность более 100 км, а ширину 15–20 км.

Высокая обводненность угледобывающих шахт (Блинов, 2005, Имайкин, Блинов, 2012) и значительное содержание серы в породах угленосной толщи (Блинов, 2000) повлияли на ухудшение экологической ситуации после начала добычи угля (Потапов, Блинов, 2002). После прохождения выработок кислород атмосферного воздуха стал проникать к высокосернистым породам, в результате чего начался процесс окисления серы с образованием серной кислоты и сульфата железа. В горных выработках стало формироваться значительное количество кислых шахтных вод, имеющих $pH \sim 2-3$, минерализацию около 3 г/л, с высоким содержанием SO_4^{2-} , Fe^{3+} , Fe^{2+} , Al^{3+} , тяжелых металлов (Катаев и др., 1995).

В период работы шахт воду постоянно откачивали на поверхность и сбрасывали в речную и овражную сеть со средним расходом около 12-14 тыс. м³/час (Блинов и др., 2005). Из-за сброса кислых шахтных вод в речную сеть в водотоках-приемниках наблюдаются высокие и экстремально-высокие уровни загрязнения воды (Меньшикова, Блинов, 2004) и идет накопление техногенных донных отложений (Меньшикова, Блинов, 2005). В период после ликвидации шахт

улучшения экологической ситуации на реках не происходит из-за сформировавшегося самоизлива кислых шахтных вод (Меньшикова, Блинов, 2005).

В период откачки и сброса шахтных вод на земную поверхность сформировались участки негативного воздействия кислых растворов на биотические и абиотические компоненты окружающей среды (рисунок 1).



Рис. 1. Участок прежнего сброса кислых вод шахты Широковская

Ширина участков сброса кислых шахтных вод достигает 100 м, протяженность – до 1–2 км. Общая площадь этих участков превышает 50 га. Почвенно-растительный слой здесь отсутствует. Растительность погибла сразу после начала сброса шахтных вод (Блинов, Старцев, Харун, 2005). Верхняя часть разреза представлена делювиальными суглинками, измененными под воздействием кислых шахтных вод. Водная вытяжка суглинков имеет кислые значения $pH \sim 3$ и высокие содержания загрязнителей, характерных для шахтных вод. Данные грунты являются субстратом, не пригодным для развития растений (Блинов, Каменщикова, 2004).

В период 1990-х г. Шахты Кизеловского угольного бассейна закрыли из-за нерентабельности. Сброс шахтных вод на этих участках прекратился, но самопроизвольного зарастания не происходит, хотя после закрытия шахт прошло уже 17-25 лет (Красильникова, 2018). Вынос химических элементов с этих участков с водными потоками приводит к загрязнению поверхностных и подземных вод, прилегающих территорий, обуславливает деградацию существующих экосистем (Красильникова, Блинов, 2017).

Группой авторов Пермского университета разработан метод рекультивации участков прежнего сброса кислых шахтных вод с применением в качестве реагентов промышленных отходов местных предприятий (Блинов и др., 2005, Доможирова, Батулин, Блинов, 2006), получен патент на изобретение (Блинов и др., 2006). Щелочные отходы ОАО «Березниковский содовый завод» (БСЗ) являются эффективным и безопасным реагентом для снижения кислотности грунтов (Боков, Блинов, 2009). Они на 80-90 % состоят из тонкодисперсного карбоната кальция с примесями доломита, портландита и некоторых других минералов (Блинов, Потапов, Найданова, 2004). Активный ил биологических очистных сооружений ОАО Метафракс применялся в качестве органического удобрения (Доможирова и др., 2006). Экологическая безопасность используемых

отходов подтверждена их детальным исследованием (Белкин и др., 2018, Боков, Блинов, 2009).

Лабораторные эксперименты по нейтрализации кислых грунтов участков прежнего сброса кислых шахтных вод были проведены в 2018 г. при участии авторов данной публикации. В отличие от предыдущих лабораторных экспериментов для нейтрализации грунтов использовались различные отходы производства соды, как из старой, так и из новой карт шламонакопителя.

В качестве нейтрализуемого грунта использовалась интегральная проба, отобранная на участке прежнего сброса кислых вод шахты Широковская, отобранная на шести профилях из всех трех слоев техногенного разреза (рисунок 2).

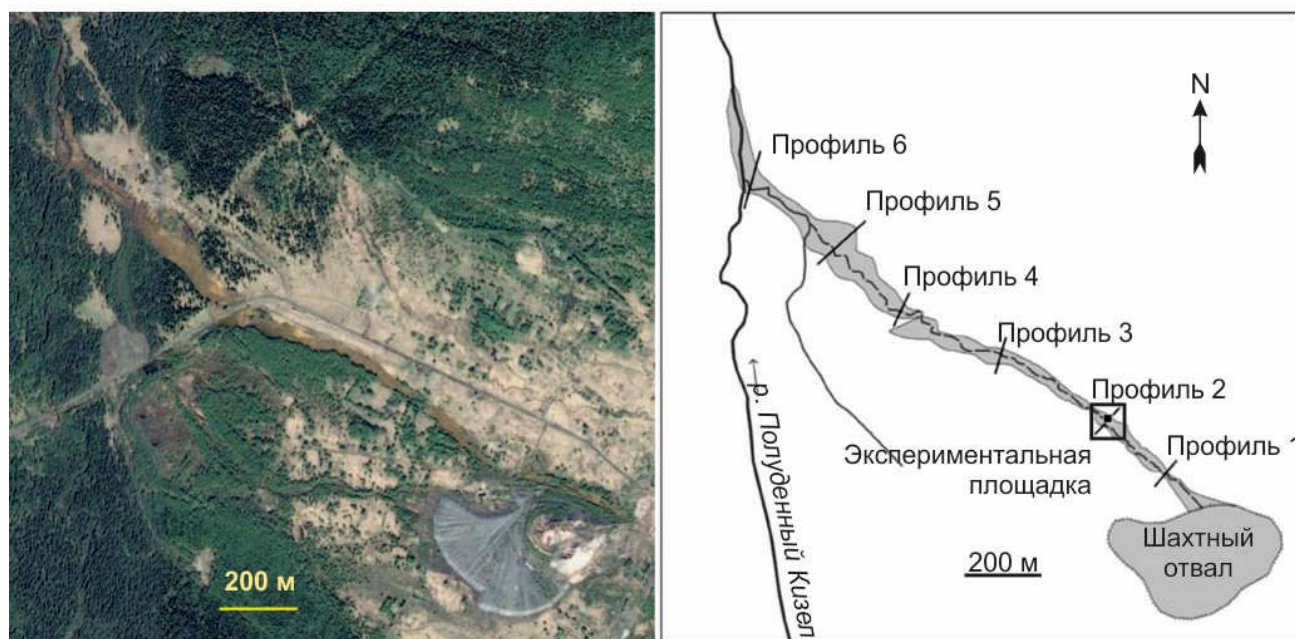


Рис. 2. Космический снимок и схема расположения профилей опробования участка прежнего сброса шахтных вод

Интегральная проба была тщательно перемешана. Влажность грунта составляла 40 %, водородный показатель – 2,64.

Было проведено 3 серии лабораторных экспериментов по нейтрализации кислого грунта разными видами отходов производства соды. В первой серии использовались отходы старой карты шламохранилища Березниковского содового завода. Во второй и третьей серии экспериментов – разные виды отходов новой карты шламохранилища. К навескам интегральной пробы кислого грунта по 250 г (в пересчете на сухой грунт) добавляли дозированные количества отходов производства соды, тщательно перемешивали и помещали в закрытую емкость. Для моделирования условий рекультивации смесь грунта и отхода выдерживалась в течение 3-х месяцев, после чего была сделана водная вытяжка из грунтов, определен ее водородный показатель pH, выполнен общий и микроэлементный анализ. Результаты нейтрализации кислого грунта с участка прежнего сброса шахтных вод отходами производства соды приведены на рисунке 3.

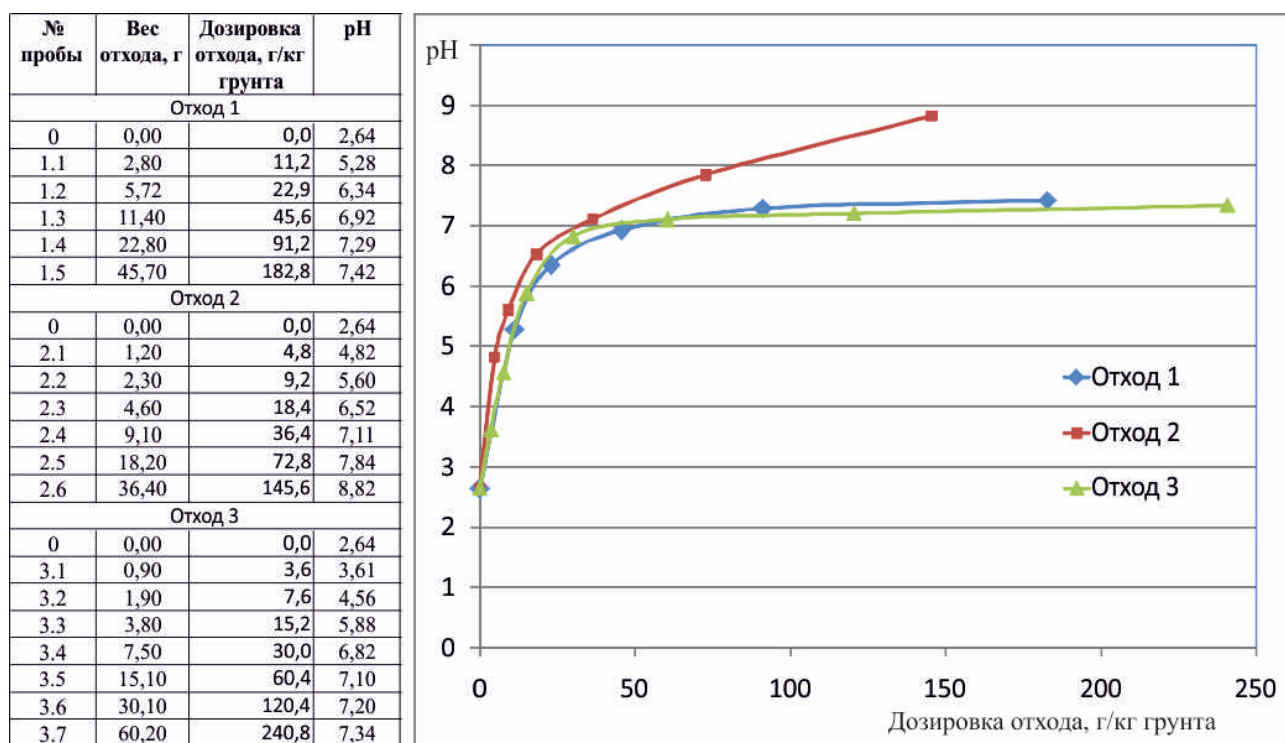


Рис. 3. Результаты нейтрализации кислого грунта с участка прежнего сброса шахтных вод отходами производства соды

Результаты лабораторных экспериментов показали, что отходы 1 и 3 почти одинаково нейтрализуют кислый грунт. Максимальные значения водородного показателя нейтрализованного грунта при увеличении дозы щелочного отхода не превышают 7,5. Для доведения значений pH грунта до региональных показателей почв (5,5–6,5) требуется вносить 12–25 г отхода на 1 кг грунта.

Отход 3 из новой карты шламохранилища БСЗ более щелочной. Водородный показатель водной вытяжки отхода 3 достигает значений 10,5–11. Необходимое количество этого отхода для нейтрализации грунта участка прежнего сброса кислых вод шахты Широковская составляет 8–18 г на 1 кг грунта.

Лабораторные эксперименты авторов с одной стороны подтверждают результаты разработанного ранее «Способа рекультивации нарушенных земель» (Блинов и др., 2006), с другой стороны получены новые результаты по применению других видов щелочных отходов, которых требуется меньше для нейтрализации грунтов до региональных значений pH почв.

Эффективный и экономичный метод рекультивации территорий воздействия кислых шахтных вод прошел лабораторные и опытно-промышленные испытания и внедрен на участке прежнего сброса кислых вод шахты Широковская (Красильникова, 2011). После применения метода в первые годы шло активное развитие засеянных трав, а через несколько лет происходит самопроизвольное зарастание древесной растительностью. Внедрение метода на всех территориях воздействия кислых шахтных вод Кизеловского угольного бассейна позволит восстановить почвенный слой и будет содействовать процессам естественного возобновления растительности.

Библиографический список:

1. Белкин П.А., Красильникова С.А., Блинов С.М. Исследование содержания ртути в отходах Березниковского содового завода // Естественные и технические науки. 2018. № 5 (119). С. 141–142.
2. Блинов С.М. Основы применения геохимических барьеров для охраны окружающей среды. Диссертация на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук / Пермский государственный национальный исследовательский университет. Пермь, 2000
3. Блинов С.М. Режим самоизлива шахтных вод поля «Белый спой» Кизеловского угольного бассейна // Геология и полезные ископаемые Западного Урала. 2005. С. 321.
4. Блинов С.М., Каменщикова В.И. Исследование фитотоксичности отходов угледобычи Кизеловского бассейна // Вестник Пермского университета. 2004. № 2. С. 139–141.
5. Блинов С.М., Потапов С.С., Ворончихина Е.А., Доможирова С.А., Батулин Е.Н., Потапов Д.С. Новый метод улучшения экологической ситуации на участках прежнего сброса кислых шахтных вод Кизеловского угольного бассейна // Минералогия техногенеза. 2005. Т. 6. С. 229–237.
6. Блинов С.М., Потапов С.С., Доможирова С.А., Батулин Е.Н. Эколого-геологическое состояние участков сброса шахтных вод Кизеловского бассейна и результаты натурных экспериментов по их рекультивации // Геология и полезные ископаемые Западного Урала. 2005. С. 324.
7. Блинов С.М., Потапов С.С., Найданова Н.Ф. Формирование техногенного месторождения тонкодисперсного карбоната кальция в пределах шламонакопителя Березниковского содового завода // Минералогия техногенеза. 2004. С. 80.
8. Блинов С.М., Старцев С.Е., Харун Л.И. К оценке влияния последствий угледобычи на биологическое и ландшафтное разнообразие территории Кизеловского бассейна. В книге: Эколого-экономические проблемы освоения минерально-сырьевых ресурсов. Тезисы докладов Международной научной конференции. 2005. С. 155–156.
9. Блинов С.М., Хозяйкин А.И., Усольцева С.П., Доможирова С.А. Способ рекультивации нарушенных земель. Патент на изобретение RUS 2336684 30.11.2006.
10. Боков Д.А., Блинов С.М. Комплексное использование отходов производства соды на территории Пермского края // Казанская наука. 2009. № 1. С. 5–8.
11. Доможирова С.А., Батулин Е.Н., Блинов С.М. Метод снижения негативного влияния последствий угледобычи в Кизеловском угольном бассейне на окружающую природную среду // Геология и полезные ископаемые Западного Урала. 2006. С. 136.
12. Доможирова С.А., Батулин Е.Н., Имайкин А.К., Блинов С.М. Эффективное использование промышленных отходов для охраны окружающей среды. В сборнике: Инновационный потенциал естественных наук. Труды международной научной конференции. 2006. С. 218–221.
13. Имайкин А.К., Блинов С.М. Гидродинамический режим шахтных вод Кизеловского угольного бассейна (на примере шахты им. 40-летия Октября) // Естественные и технические науки. 2012. № 1 (57). С. 224–228.
14. Катаев В.Н., Максимович Н.Г., Блинов С.М. Загрязнение карстовых вод Кизеловского угольного бассейна // География и природные ресурсы. 1995. № 1. С. 57.
15. Красильникова С.А. Исследование участка прежнего водосброса кислых вод шахты Широковская (Кизеловский угольный бассейн) // Вестник Забайкальского государственного университета. 2018. Т. 24. № 1. С. 10–17.
16. Красильникова С.А. Эколого-экономическая эффективность рекультивации нарушенных земель // Современные проблемы науки и образования. 2011. № 6. С. 284.
17. Красильникова С.А., Блинов С.М. Последствия сброса кислых шахтных вод в Кизеловском угольном бассейне // Естественные и технические науки. 2017. № 11 (113). С. 153–154.
18. Меньшикова Е.А., Блинов С.М. Особенности современного аллювиального седиментогенеза на территории Кизеловского угольного бассейна // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении. Научные чтения памяти П.Н. Чирвинского. 2004. С. 305.
19. Меньшикова Е.А., Блинов С.М. Современное состояние донных отложений рек Кизеловского угольного бассейна // Минералогия техногенеза. 2005. Т. 6. С. 238–250.

20. *Меньшикова Е.А., Блинов С.М.* Эколого-геохимическое состояние донных отложений рек Кизеловского угольного бассейна в период после ликвидации шахт // Вестник Пермского университета. 2005. № 3. С. 167.

21. *Потапов С.С., Блинов С.М.* Геоэкологическая ситуация в Кизеловском угольном бассейне на основе изучения техногенных минерализаций // Уральский минералогический сборник. 2002. № 12. С. 204–219.

И.С. Копылов¹, О.Н. Ковин¹, С. Нахесбик²

¹ ПГНИУ, georif@yandex.ru

² Китайский нефтяной университет, Циндао, КНР

ИЗУЧЕНИЕ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ КРУПНЫХ ЛИНЕЙНЫХ СООРУЖЕНИЙ РОССИИ (АЛТАЙ) И КИТАЯ (ПРОВИНЦИЯ СИНЬЦЗЯНЬ)

Проведены региональные инженерно-аэрокосмогеологические исследования территории на стыке России, Китая, Казахстана и Монголии для изучения условий геодинамической активности и опасности для проектирования крупных линейных сооружений – системы магистральных газопроводов и высокоскоростной железной дороги. Общая площадь изучения составила более 600 тыс. км², при этом, большая часть (400 тыс. км²) относится к территории Синьцзян-Уйгурского автономного района Китая. Выполнено компьютерное структурно-геологическое дешифрирование космических снимков различных масштабов, включая детальное дешифрирование отдельных районов по Горному Алтаю. Установлены более 3,5 тыс. неотектонических линеаментов, десятки геоактивных зон разных рангов. Они представляют собой потенциально опасные аварийные участки проектируемых линейных объектов.

I.S. Kopylov¹, O.N. Kovin¹, S. Nahesbik²

¹ Perm State University, georif@yandex.ru

² Chinese Petroleum University, Qingdao, China

STUDY OF ENGINEERING GEODYNAMIC CONDITIONS AEROSPACE METHODS FOR DESIGNING LARGE LINEAR OBJECTS OF RUSSIA (ALTAI) AND CHINA (XINJIAN PROVINCE)

Regional engineering and aerospace geological studies of the territory at the junction of Russia, China, Kazakhstan and Mongolia were carried out to study the conditions of geodynamic activity and danger for the design of large linear structures - the system of main gas pipelines and high-speed railway. The total area of study was more than 600 thousand km², while the majority (400 thousand km²) belong to the territory of the Xinjiang Uygur autonomous region of China. Computerized structural-geological interpretation of satellite images of various scales, including detailed interpretation of individual areas in the Altai Mountains, has been completed. More than 3.5 thousand neotectonic lineaments, dozens of geo-active zones of various ranks were established. They are potentially dangerous emergency areas of the projected linear objects.

При планировании крупных инфраструктурных проектов, к которым относятся проектирование крупных линейных сооружений с повышенным уровнем ответственности – высокоскоростные железные дороги, магистральные трубопроводы и др., особенно важно своевременно выявить проблемные участки, обусловленные геологическими факторами, развивающимися в геодинамических активных зонах (ГАЗ) и прокладывать трассы в наименее опасных геодинамических условиях. Проведенные исследования во всех изученных регионах показали, что одной из основных причин возникновения аварийных ситуаций на линейных инженерных сооружениях помимо технических и технологических факторов является активизация геологических процессов в геоактивных зонах. С линеаменами и их системами связаны многие экзогенные геологические процессы и явления (интенсивное развитие карста и термокарста, суффозия, оврагообразование, оползни, обвалы, смещение русел водотоков и др.). К зонам пересечения линеаментов с линейными объектами (нефте- и газотрубопроводы, сооружения связи, транспортные магистрали и др.) приурочена большая часть аварий, обусловленных природными факторами (Копылов, 2012, 2013, 2014, 2015; Михалев и др., 2005; Korylov I.S., Kovin O.N., Konoplev A.V., 2015).

Одними из важнейших современных международных экономических мегапроектов является строительство газопровода «Алтай» с выходом в Китай и проектирование высокоскоростной железной дороги Москва – Пекин. В настоящее время подписано соглашение (между «Газпромом» и китайской нефтегазовой корпорацией CNPC) о поставках газа из России в КНР по западному маршруту, с месторождений в Западной Сибири через Алтай. Проводятся инженерные изыскания по трассе газопровода. Проекты проходят окончательный этап согласований, при этом еще не выбраны окончательные варианты трасс. Предполагается, что обе трассы будут иметь выход из России через Горный Алтай на юг в Синьцзян-Уйгурский автономный район (СУАР) КНР. Другие варианты предполагают прохождение железной дороги через территорию Казахстана, а газопровода – через территорию Монголии (в обход плато Укок). Но все варианты сходятся в предварительном конечном пункте – г. Урумчи.

Территории проектируемых линейных инженерных объектов находится на стыке четырех государств – России, Китая, Казахстана и Монголии, имеет важное значение для развития экономики этих стран. Общая площадь составляет более 600 тыс. км², при этом, большая часть (400 тыс. км²) относится к территории СУАР КНР.

Инженерно-геологические и неотектонические особенности

Рассматриваемая территория имеет очень сложные инженерно-геологические условия, обусловленные большим разнообразием инженерно-геологических формаций самого различного состава (от протерозойского до мезокайнозойского возраста), морфогенетических типов рельефа, обусловленных блоковой неотектоникой с различными инженерно-геологическими свойствами, активной новейшей тектоникой и геодинамикой, характеризуется высокой и крайне неравномерно распределенной сейсмичностью.

Геологическое строение региона изучалось многими исследователями начиная от географических экспедиций РГО XIXв. – нач. XXв. (И.В. Мушкетов, В.А. Обручев и др.) до современных исследований в основном российских и китайских геологов (Ли Сы-Гуан, 1952; Ли-Го Юй, 1992; Трифонов, 1999; Новиков, 2004; Tectonic Map...2014 и др.). Основная роль в открытии многочисленных месторождений полезных ископаемых Синьцзяня (нефть, газ, уголь, золото, полиметаллы, цветные и редкоземельные металлы, драгоценные камни и др.) принадлежит Управлению по геологическому изучению Синьцзяня, созданного в СССР и современному Синьцзянскому бюро геологии и разведки и разработки полезных ископаемых. Однако неотектоническая структура региона до настоящего времени остается очень неравномерно изученной и довольно схематичной.

Современные теоретические представления о неотектонике рассматриваемой территории изложены в работах новосибирских ученых (Новиков, Дядьков, Козлова, Мамедов, Черкас, Михеева, 2014), которые разделяет точку зрения Э. Аргана (1935), принимая в качестве ведущей силы неотектонических деформаций Индо-Евразийскую коллизию (Хаин, 1990). Система новейших деформаций рассматриваемой территории контролируется двумя основными факторами. Первым фактором является реологическая неоднородность верхней части земной коры в ее пределах. Вторым – обстановка горизонтального сжатия. Реологическая неоднородность проявлена в наличии двух классов объектов: крупных относительно жестких доменов и раздробленных зон, в которых происходят движения по основным новейшим разломам (Мамедов, 2018). В мобильных зонах происходит поперечное сокращение и утолщение земной коры за счет выдавливания мелких блоков, из которых состоят мобильные зоны, в верхнее и нижнее полупространство. Это приводит к тому, что в то время как Индостанский блок сближается с Западной Сибирью, которая играет роль северного жесткого ограничения, со скоростью 36-40 мм/год, Таримский движется на север со скоростью 12 мм/год, а Джунгарский – всего 4 мм/год. Наличие ограничения на севере приводит к тому, что на западной границе территории северное направление движения блоков сменяется восточным (Yang et al., 2005; Новиков и др., 2014).

Результаты АКГИ территории Горного Алтая

В 2014-2015гг. в Пермском государственном университете (кафедра инженерной геологии и охраны недр, ЕНИ ПГНИУ) в целях оценки геодинамической активности территории Горного (Русского) Алтая и проектирования системы магистральных газопроводов проводились инженерно-аэрокосмогеологические исследования (АКГИ) с применением компьютерное структурно-геологического дешифрирования космических снимков (КС) различных масштабов. В работе использовались данные ДЗЗ из открытого доступа Internet и Томского НИГУ и ООО НПО «Сибгеоинформатика» (Рюмкин, Тябаев, 2013). Методика работ включала выделение неотектонических линейных элементов и обработку данных в ГИС-технологиях, с последующим сопоставлением результатов дешифрирования с геолого-геофизическими материалами. Методика дешифрирования КС базировалась на принципе поэтапного анализа аэро-

космических материалов разных уровней генерализации. Технологически это выполнялось путем системного анализа КС разного масштаба от мелкого – к крупному (с захватом прилегающих территорий – чем мельче масштаб, тем большая площадь изучалась) и чем меньше площадь, тем детальнее изучение. Всего выделено суммарно 2180 линеаментов. Дешифрирование проводилось по 5 уровням генерализации (Копылов, 2015) в следующей последовательности:

1) обзорное дешифрирование КС (5 уровень – площадь 175 тыс. км² с охватом Республики Алтай) масштаба 1:10 000 000, 1:5 000 000, 1:2 500 000 и региональное дешифрирование масштаба 1 000 000. Выделено 423 региональных линеаментов большой протяженности (100-200 и более км);

2) региональное дешифрирование КС (4 уровень – площадь 80 тыс. км², бассейн рр.Катунь, Башкаус, оз.Телецкое) масштаба 1:500 000. Выделено 423 зональных линеаментов (25-100 км);

3) регионально-зональное дешифрирование КС (3 уровень – площадь 16 тыс. км², бассейн рр.Чуя и Ак-Алах) масштаба 1:200 000. Выделено 602 зональных и локальных линеаментов (10-25 км);

4) зональное дешифрирование КС (2 уровень – площадь 1600 км², район р.Ак-Алах) масштаба 1:100 000. Выделено 415 локальных линеаментов (5-10 км);

5) детальное (крупномасштабное) дешифрирование КС (1 уровень – площадь 500 км², верховье р.Ак-Алах) масштаба 1:50 000. Выделено 230 коротких линеаментов (1-5 и менее км) (рис. 1).

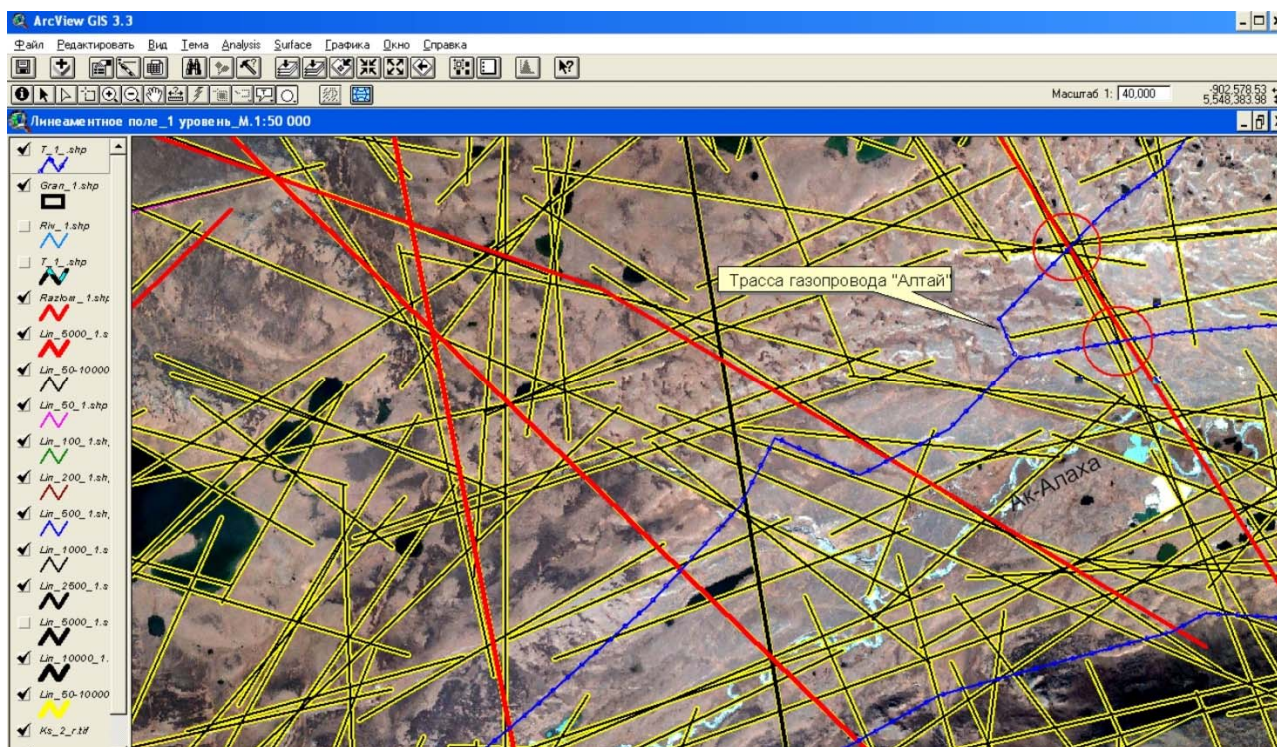


Рис. 1. Фрагмент детального дешифрирования цифровых космоснимков

Результаты АКГИ Северного Синьцзяня и прилегающей территории

В 2018-2019 гг. инженерно-аэрокосмогеологические исследования для оценки геодинамической активности территории на стыке России, Китая, Казахстана и Монголии были продолжены. Главная цель была – общая оценка геодинамической активности территории и выделение крупных геоактивных зон в Северном Синьцзяне.

Территория охватывала площадь 665 x 770 км, ограничена: с севера – по широте г. Горно-Алтайска, на юге – 50 км южнее г. Урумчи, на западе – по долготе г. Чугучак (Тачэн) или в 60 км западнее оз.Зайсан, на востоке – по долготе г. Абакан, Ховд (43-53° СШ, 81-92° ВД), общая площадь 510 км².

Дешифрирование КС и обработка данных проводилась с помощью программного обеспечения ArcGIS и модуля Spatial Analyst фирмы ESRI. Использовались цифровые КС среднего (Landsat) и высокого (QuickBird) разрешения. Выделялись крупные неотектонические линейaments, составлялись карты линейaments и их плотности в соответствующих масштабах работ.

Проведено обзорное дешифрирование КС масштаба 1:10 000 000, 1:5 000 000, 1:2 500 000 и региональное дешифрирование масштаба 1 000 000. Выявлена сеть прямолинейных линейaments различных направлений. Всего выделено суммарно 1570 линейaments. Из них 34 линейaments протяженностью 200-800 км, 77 линейaments протяженностью 100-200 км, 415 линейaments протяженностью (50–100 км), 1041 линейaments протяженностью 25–50 км (рис. 2).

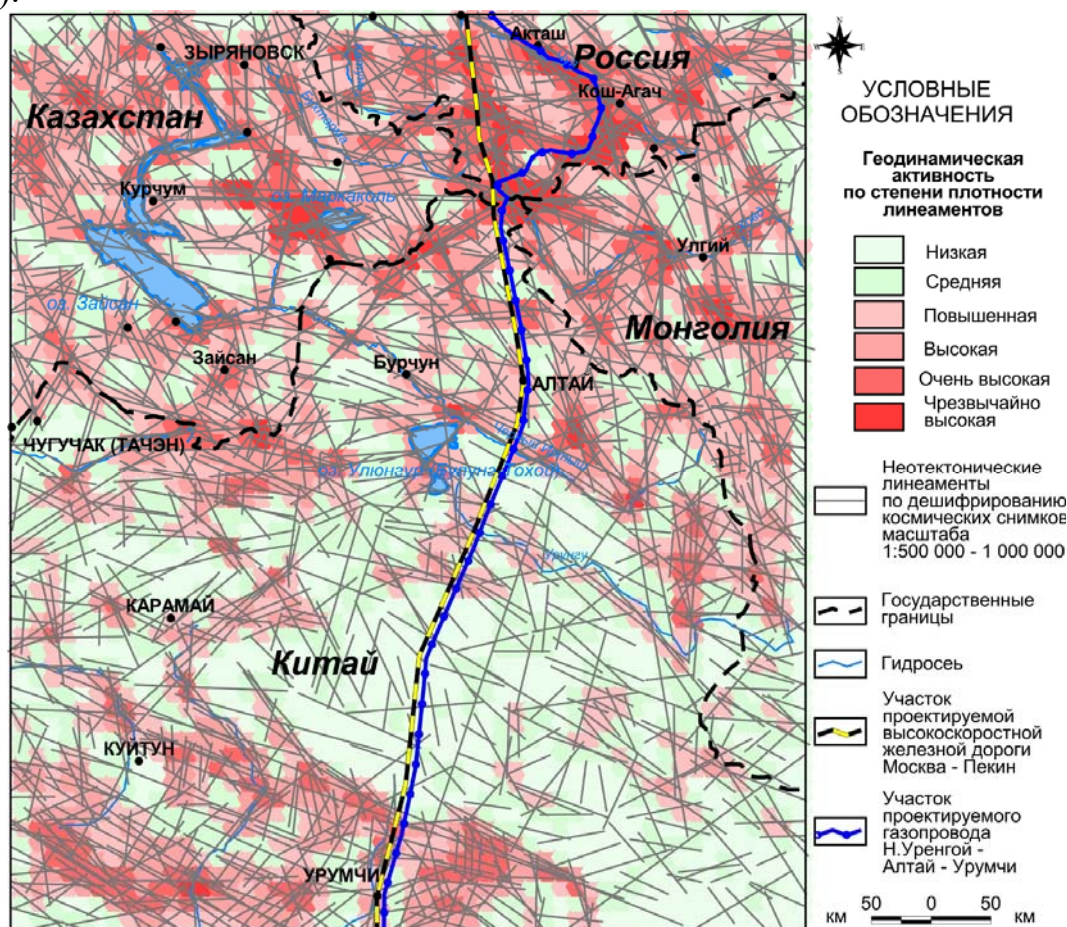


Рис. 1. Оценка геодинамической активности территории проектируемых крупных линейных сооружений Северного Синьцзяня

Прямолинейные линеаменты отображают активизированные в новейшее время узкие субвертикальные линейные зоны трещинно-разрывных и флексуно-разрывных структур осадочного чехла и фундамента. Проявление таких структур в строении земной поверхности обусловлено возрождением блоковых движений в современный тектонический этап развития земной коры. Наиболее тектонически ослабленными являются геодинамические зоны и участки на границах неотектонических блоковых структур, где наблюдается наибольшее сгущение и пересечение линеаментов и мегатрещин, отмечается наибольшая расчлененность рельефа и в целом повышенная неотектоническая активность.

На рассматриваемой территории проведен линеаментно-геодинамический анализ по распределению плотности линеаментов и мегатрещиноватости (основной показатель – суммарная протяженность на единицу площади по всем линеаментам) и по этим показателям проведена оценка геодинамической (неотектонической) активности территории. Плотность линеаментов на рассматриваемой территории колеблется в широких пределах, при этом характерны региональные особенности. В северной части региона (Русский и Монгольский Алтай) общий фон составляют значения с повышенной (3 балл) и высокой (4 балл) с многочисленными аномалиями очень высокой (5 балл) и чрезвычайно высокой (6 балл) степенью плотности линеаментов. В центральной части региона (Джунгария) общий фон составляют значения с низкой (1 балл) и средней (2 балл), реже – с повышенной (3 балл) и с редкими аномалиями высокой (4 балл) и очень высокой (5 балл) степенью плотности линеаментов. К югу (Тянь-Шань) общая геодинамическая активность территории вновь увеличивается, региональное геодинамическое поле сильно дифференцировано, преобладает общая повышенная степень плотности линеаментов.

На всей территории выделяется более 50 геодинамических активных зон регионального уровня (с площадями 300-1500 км²) с очень и чрезвычайно высокими (5-6 балл) значениями плотности линеаментов. Практика показывает, что они имеют мозаичное строение, где имеются, как потенциально благоприятные, так и неблагоприятные геодинамические условия для строительства и особенно – для дальнейшей эксплуатации линейных инженерных сооружений.

Наиболее потенциально опасными аварийными участками проектируемых линейных объектов являются локальные геоактивные зоны (размером 0,5-1 и менее км), которые выделяются при проведении крупномасштабных аэрокосмогеологических исследований (масштаб 1:50 000). Учет неотектонической линеаментной сети территорий трубопроводов, железных дорог и других линейных инженерных объектов на различных стадиях их существования (проектирование, строительство, эксплуатация) позволит в значительной мере снизить риск возникновения аварийных ситуаций, вызванных влиянием природных факторов, обусловленных геодинамическими активными зонами.

Библиографический список:

1. Копылов И.С. Аэрокосмогеологические исследования на трассах нефтегазопроводов для оценки инженерно-геологических условий и геодинамической активности» // Геология и полезные ископаемые Западного Урала. Пермь, 2015. № 15. С. 157–162.

2. *Копылов И.С.* Влияние геодинамики и техногенеза на геоэкологические и инженерно-геологические процессы в районах нефтегазовых месторождений Восточной Сибири // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 3.
3. *Копылов И.С.* Геоэкология нефтегазоносных районов юго-запада Сибирской платформы. Пермь, 2013. 166 с.
4. *Копылов И.С.* Инженерно-геологическая роль геодинамических активных зон // Успехи современного естествознания. 2014. № 5-2. С. 110-114.
5. *Копылов И.С.* Проведение линеаментно-геодинамического анализа Горного Алтая и трассы проектируемого газопровода «Алтай» // Международный журнал экспериментального образования. 2015. № 8-3. С. 398.
6. *Ли Сы-Гуан.* Геология Китая. М.: Изд. иностр. лит-ры, 1952. 520 с.
7. *Ли-Го Юй.* Геология нефти и газа Китая /науч ред. В.С.Вышемирский. Новосибирск: Изд. ОИГГМ СО РАН, 1992. 37 с.
- Мамедов Г.М.* Геоморфологическая оценка транспортного потенциала Джунгарской впадины. Дис. на соиск. уч. степ. канд. географ. наук. Новосибирск, 2018, 155 с.
8. *Михалев В.В., Копылов И.С., Аристов Е.А., Коноплев А.В.* Оценка техноприродных и социально-экологических рисков возникновения ЧС на магистральных продуктопроводах Пермского Приуралья // Трубопроводный транспорт: теория и практика. 2005. № 1. С. 75.
9. *Михалев В.В., Копылов И.С., Быков Н.Я.* Оценка геологических рисков и техноприродных опасностей при освоении нефтегазоносных районов на основе аэрокосмогеологических исследований // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2005. № 5-6. С. 76–77.
10. *Новиков И.С.* Морфотектоника Алтая. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2004. 313 с.
11. *Новиков И.С., Дядьков П.Г., Козлова М.П., Мамедов Г.М., Черкас О.В., Михеева А.В.* Неотектоника и сейсмичность западной части Алтае-Саянской горной области, Джунгарской впадины и Китайского Тянь-Шаня // Геология и Геофизика. 2014. Т. 55. № 12. С. 1802-1814.
12. *Рюмкин А.И., Тябаев Е.С.* Геовизуализация по данным дистанционного зондирования в проектировании магистральных трубопроводов // Исследование Земли из космоса. 2013. № 5. С. 70–83.
13. *Трифонов В.Г.* Неотектоника Евразии. М.: Научный мир, 1999. 252 с.
14. *Kopylov I.S., Kovin O.N., Konoplev A.V.* Forecasting of geodynamic hazards at potash mines using remote sensing data: a case study of the Tubegatan deposit, Uzbekistan // International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM. 2015. № 1–3. С. 305–311.
15. *Tectonic Map of Northern-Central-Eastern Asia and Adjacent Areas. 1:2 500 000 / Editors-in-Chief: O.V.Petrov, Yu.G.Leonov (Russia), Li Tingdong (China), O. Tomurtgoo (Mongolia).* 2014.
16. *Yang S.-m., Wang Q., You X.-z.* Numerical analysis of contemporary horizontal tectonic deformation fields in China from GPS data // Acta Seismol. Sinica, 2005, V. 18, № 2, P. 135–146.

ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ «СООРУЖЕНИЕ – ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ СРЕДА»

В статье рассматриваются вопросы необходимости создания и ведения постоянно действующей информационно-аналитической системы «геологическая среда – сооружение» для обеспечения безаварийной эксплуатации объекта. Описывается технология создания таких систем на основе ГИС.

Ключевые слова: инженерная геология, ГИС, моделирование

INFORMATION AND ANALYTICAL MODELING SYSTEMS «CONSTRUCTION – GEOLOGICAL ENVIRONMENT»

P.A. Krasilnikov
Perm State University, chisp07@gmail.com

The article discusses the need to create and maintain a permanently operating information-analytical system «geological environment - construction» to ensure trouble-free operation of the facility. The technology of creating such systems based on GIS is described.

Key words: engineering geology, GIS, modeling

В последние годы в средствах массовой информации очень часто сообщают об аварийных ситуациях, возникающих на месторождениях отрабатываемых подземным способом или в населенных пунктах, находящихся в зоне подработки. Зачастую все эти аварийные ситуации возникают из-за отсутствия достоверной, полной, актуальной и оперативной информации о геологической среде и существующей техногенной нагрузки.

Решение этой проблемы видится в создании и поддержании постоянно действующей информационно-аналитической системы (ИАС) инженерно-геологической информации в пределах городских агломераций и горнопромышленных районов (Коноплев и др., 2014). В работе «Принципы создания и ведения базы данных инженерно-геологической информации» раскрыты принципы и методология создания таких информационно-аналитических систем (Красильников, Хронусов, Барский, 2018).

Однако, знание о геологической среде и техногенной нагрузке позволяет нам оценить устойчивость геологической среды и спрогнозировать возникающие изменения в результате хозяйственной деятельности человека, но не полно отражает как поведет себя сооружение в результате этих изменений. Для этого необходимо создавать целевую информационно-аналитическую модель системы «геологическая среда – сооружений».

Такие модели наиболее актуальны для сооружений, которые не только опираются на геологическую среду, но и находятся внутри нее. Примерами таких объектов являются подземные гаражи, паркинги, метрополитены, шахтные стволы и другие технически сложные сооружения. В последние годы таких

объектов становится все больше и больше, так как тенденция развития крупных городов меняется и направлена на освоение подземного пространства, а не на строительство небоскребов.

В данной статье приводятся результаты моделирования системы «геологическая среда – сооружение» на примере проходки шахтных стволов калийного предприятия.

При закрытой системе отработки месторождения техническим сооружением, опирающимся на грунтовое основание и обеспечивающим жизнедеятельность рудника на весь срок его эксплуатации, является шахтный ствол.

В относительно малом объеме здесь сосредоточены объекты и конструкции различного назначения (клетевой и скиповый подъем, коммуникации, силовые конструктивные элементы, оборудование для гидрозакладки). На стадии эксплуатации рудника (несколько десятков лет) через шахтный ствол поднимается на поверхность более двух железнодорожных составов руды в сутки.

Работы по проходке вертикальных шахтных стволов относятся к наиболее сложным и трудоемким работам при строительстве шахт и занимают 40 – 50 % общей продолжительности строительства ГОК и до 15 % общих капитальных затрат. Шахтный ствол является главной вскрывающей выработкой, нарушение функционирования которой ведет к остановке всего горного предприятия. Срок службы ствола зависит от правильного выбора конструкции крепи, которая должна обладать достаточной несущей способностью и степенью гидроизоляции, поэтому при проектировании к расчету крепи предъявляются повышенные требования (Тарасов, Пестрикова, 2015). Следующим важным шагом является соблюдение и выполнение принятых проектных решений в полном объеме.

Наличие информационной-аналитической системы позволяет оперативно проводить контроль качества выполнения строительных работ и своевременно вносить изменения в проект при появлении новых данных.

Опыт эксплуатации шахтных стволов показал необходимость регулярных работ, связанных с поддержанием их работоспособности и защиты от водопритокков. Для этого, техническими службами рудника и сторонними организациями осуществляется мониторинг состояния действующих шахтных стволов. Для своевременного принятия решений, связанных с проведением ремонтных работ и режимом эксплуатации рудника, необходима качественная информация об элементах конструкции (тубинговая и затубинговая крепи), их характеристиках, а также характеристика грунтового массива.

Технически такую ИАС можно вести на базе геоинформационных систем. Автором создана и ведется такая система на базе программного продукта ArcGis 10.2. Для ее эффективной работы, помимо стандартного набора инструментов, представленного в программном продукте ArcGis, потребовалось создание специализированного расчетного программного модуля (Addin), реализующего генерацию разверток для заданных центра и радиуса (цилиндрическая система координат) и проецирование элементов ствола на развертку. Этот программный модуль был создан силами программистов ООО «Информ++». Программное обеспечение позволяет свернуть в трехмерную модель данные, полу-

ченные на развертке. Пересчет координат с цилиндрической развертки в географические и обратно не вызывает затруднений.

Создаваемая информационно-аналитическая система существенно отличается от традиционных геологических, маркшейдерских или горных ГИС проектов. Она требует специализированную геоинформационную основу, в ГИС проект шахтного ствола в качестве основы необходимо включает в себя следующие категории данных, соответствующие стадиям работ:

1. Результаты бурения контрольно-стволовой и намораживающих скважин
 - Геологическое строение.
 - Описание и лабораторные данные исследований керна.
 - Геофизические и гидрогеологические данные.
 - Данные инклинометрии скважин наморозки и расчеты толщин ледопородного ограждения.
2. Проектные данные
 - Проект тубинговое крепи (швы, тубинги, заливочные и тампонажные пробки).
 - Проект затубинговой крепи (опорные венцы, кейлькранц, тампонажная завеса).
 - Проект сопряжений с капитальными выработками.
3. Фактические данные в процессе проходки
 - Зарисовки стенок ствола и точек опробования, включающие картирование трещин, складок, водопритоков и других осложнений в строении породного массива.
 - Результаты лабораторных исследований проб грунта и воды отобранных в период проходки ствола.
 - Исполнительная съемка процесса проходки и крепления шахтного ствола.
 - Осложнения в процессе эксплуатации шахтного ствола (деформирование проводников и крепи, водопроявления, данные о выполненных ремонтных работах).
 - Другие типы данных, непосредственно или косвенно участвующих в оценке состояния шахтного ствола (результаты повторных обследований, геофизические данные).

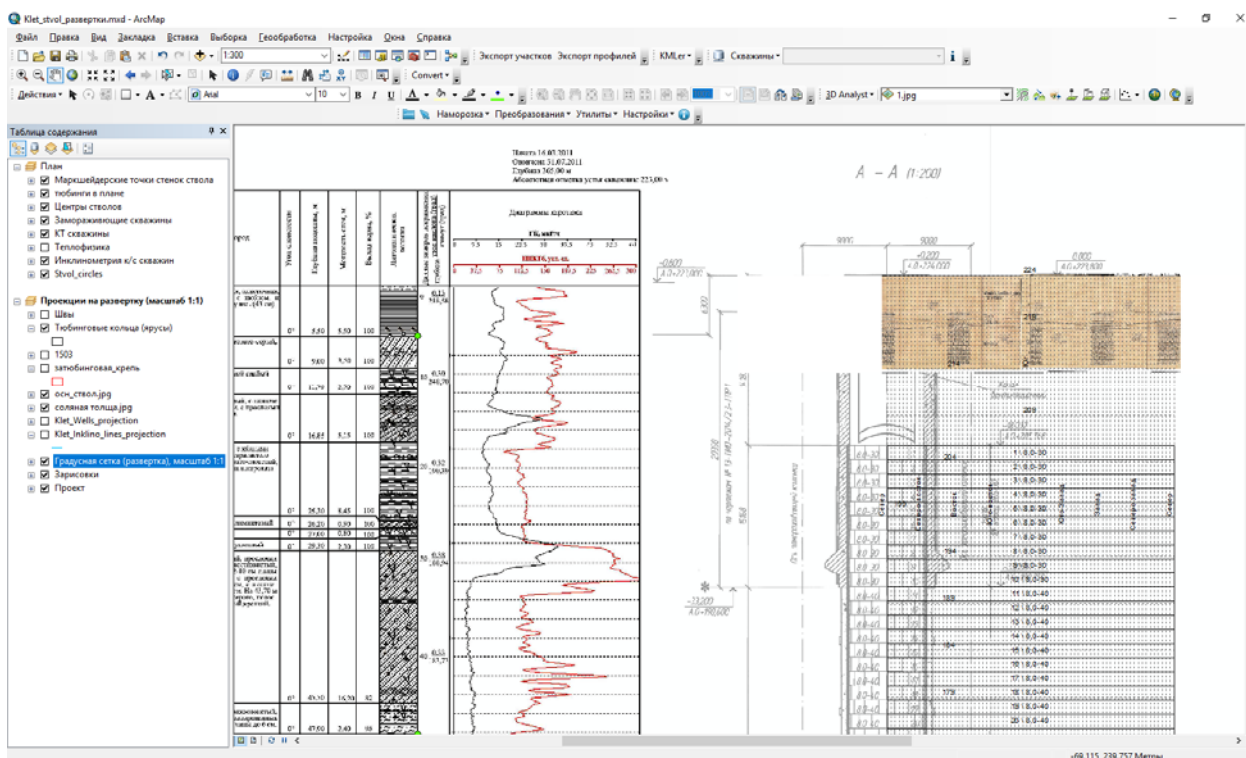


Рис. 1. Общий вид рабочего проекта хранения данных развертки клетового ствола

Технически, такая информационная модель должна содержать три базовых вида – план (вид сверху), развертка стенок (совмещена с разрезами) и трехмерная модель (свертка). К каждому виду создается набор слоев с необходимой атрибутивной информацией.

Первые два вида (план, развертка) автором реализованы в одном проекте, путем создания двух фреймов данных, что позволяет оперативно переходить от работы в плане к развертке (рис. 2). Трехмерная модель также создана в среде ArcGis в приложении ArcScene (рис. 3). Поэтому созданная информационно-аналитическая система представлена двумя файлами проекта, с расширением .mxd и .sxd для работы в плоскости и в трехмерном виде, соответственно.

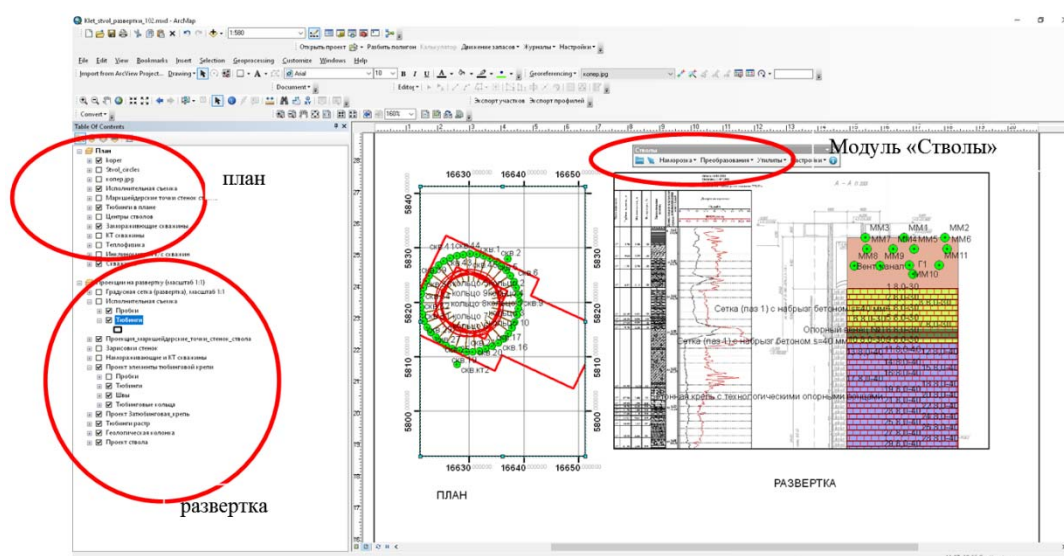


Рис 2. Гис проект проходки шахтного ствола.

Использование указанного подхода для моделирования системы «шахтный ствол – геологическая среда» позволяет в любой период времени получить информацию о закрепном грунтовом массиве и совместить с конструкционными характеристикам сооружения.

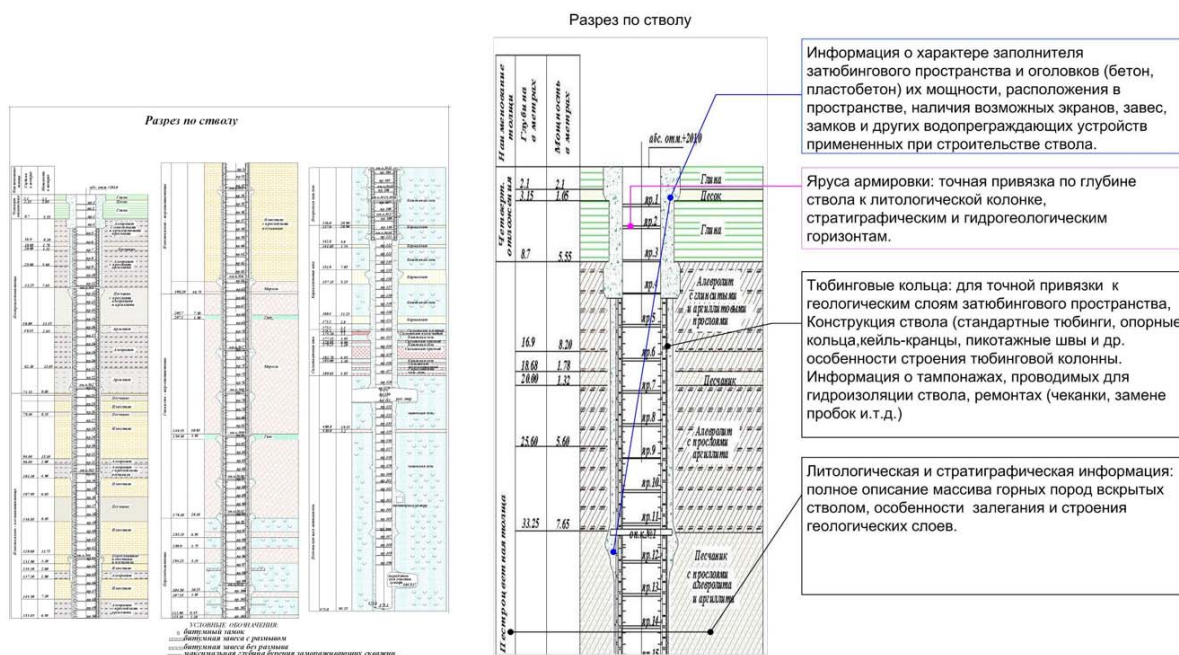


Рис.5. Проектная информация, совмещенная с данными исполнительной съемки

Созданная информационная система обеспечит специалистов технических служб недропользователя и связанных с ними научных и проектных организаций достоверной и оперативной информацией на всех этапах жизненного цикла сооружения.

Необходимо отметить, что реализация такого методологического подхода к инженерно-геологическому моделированию системы «шахтный ствол – геологическая среда» является аналогом BIM моделирования и позволяет снизить риски возникновения аварийных ситуаций в период проходки шахтных стволов и при их эксплуатации.

Создание и ведение ИАС системы «инженерное сооружение - геологическая среда» позволяет:

1. Выявить неточности и ошибки в существующем проекте;
2. Осуществлять контроль соответствия выполняемых работ проектным решениям;
3. Иметь актуальную информацию о компонентах системы на всех этапах его жизненного цикла;
4. Обоснованно принимать управленческие решения по ремонту, реконструкции и др.;
5. Сократить время принятия решений при возникновении чрезвычайных ситуаций.

Библиографический список:

1. *Тарасов В.В., Пестрикова В.С.* Обзор аварийных ситуаций, возникших на Верхнекамском калийном месторождении при проходке шахтных стволов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2015. № 5. С. 23–29.
2. *Геоинформационное обеспечение системы инженерно-геологической и геоэкологической безопасности города Перми* / Коноплев А.В., Копылов И.С., Красильников П.А., Кустов И.В. // В сборнике: геоинформационное обеспечение пространственного развития Пермского края. Сборник научных трудов. Пермский государственный национальный исследовательский университет, ГИС-центр ПГНИУ. Пермь, 2014. С. 56–7
3. *Геоинформационное обеспечение экономической оценки природно-ресурсного потенциала территорий Пермского края* / Красильников П.А., Коноплев А.В., Хронусов В.В., Барский М.Г. // Экономика региона. 2009. № 1 (17). С. 143–151.
4. *Докт. дисс. Технические науки И.И. Савин.* 1998. Разработка информационной системы мониторинга в вертикальных шахтных стволах на основе решения обратных задач механики подземных сооружений
5. *Кашиников А.В.* Информационно-аналитическая система «паспорт ствола» для инженерно-технических работников рудников // сб.науч. тр.: Стратегия и процессы освоения георесурсов. Горный институт Уральского отделения РАН. Пермь, 2011. С. 251–252.
6. *Коноплев А.В., Красильников П.А.* Районирование территории Пермского края по величине природно-ресурсного потенциала на основе ГИС-технологий / Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. 2009. № 3 (17). С. 150–156.
7. *Красильников П.А., Хронусов В.В., Барский М.Г.* Принципы создания и ведения базы данных инженерно-геологической информации // Геология и полезные ископаемые Западного Урала. 2018. № 18. С. 252–257.

Авторский указатель

1. Арсанукаев З.З. 180
2. Бадьянова И.В. 31,75,84
3. Бажутин П.И. 308
4. Башков А.Н. 147
5. Башкова С.Е. 147
6. Белоногова Ю.О. 362
7. Болотов Г.Б. 116
8. Борисов А.В. 256
9. Боталова А.В. 3
10. Бурмистров А.Д. 272
11. Бычков С.Г. 187
12. Виноградов В.Б. 256
13. Волкова М.А. 84
14. Волошина Ж.Ю. 385
15. Ворошилов В.А. 212
16. Гершанок В.А. 9, 194
17. Гилёва А.В. 88
18. Гладкова Е.В. 136
19. Глотов А.А. 265
20. Горожанцев А.В. 284
21. Даль Л.И. 50
22. Деменев А.Д. 415
23. Димухаметов Д.М. 385
24. Долгаль А.С. 212
25. Ермолович И.Г. 326, 342
26. Ерофеев Е.А. 303
27. Золотарев Д.Р. 326, 342
28. Зубриков А.А. 206
29. Ибламинов Р.Г. 9
30. Иконников Е.А. 299
31. Илалтдинов И.Я. 75
32. Исаева И.А. 423
33. Казаков В.Н. 299
34. Карасев Д.В. 131
35. Карасева Т.В. 131, 142, 147
36. Катаев В.Н. 326, 342
37. Катаева Е.П. 415
38. Кашин М.К. 312
39. Кивилева З.В. 308
40. Килин Ю.А. 358
41. Кирилова А.И. 394
42. Кичигин А.В. 292
43. Клёцкина О.В. 337
44. Ковалева Т.Г. 394
45. Ковин О.Н. 280, 427
46. Коврижных С.Б. 103
47. Кожевникова Е.Е. 3, 136
48. Колесников В.П. 206
49. Копылов И.С. 23, 50, 410, 427
50. Костарев С.М. 284
51. Костицын В.И. 194, 247, 259
52. Красильников П.А. 435
53. Кузин А.В. 162
54. Кузнецова Е.А. 156
55. Кулакова Н.В. 241
56. Курнаков Г.В. 108
57. Кустов И.В. 362
58. Ланцева В.Е. 423
59. Ларионова А.Д. 379
60. Ласкина Т.А. 206
61. Лейбович Л.О. 398
62. Лунев Б.С. 353
63. Максимов М.И. 275
64. Максимович Н.Г. 415
65. Маликова Р.Р. 256
66. Минькевич И.И. 358
67. Митюнина И.Ю. 236
68. Михалев В.В. 23
69. Мичурин А.В. 187
70. Муравина О.М. 212
71. Наборщикова О.В. 153
72. Наумов В.А. 98, 108, 353
73. Наумова О.Б. 98, 353
74. Нахесбик С. 427
75. Нельзин Л.П. 16
76. Ноговицин А.С. 358
77. Оборин В.В. 410
78. Овчинникова Е.А. 247
79. Огородова И.В. 227
80. Олянский Ю.И. 370
81. Осовецкий Б.М. 57
82. Ощепкова А.З. 337
83. Пактовский Ю.Г. 9, 44
84. Паршаков Е.И. 292

- | | |
|--------------------------|------------------------------|
| 85. Петрова Р.Н. 112 | 101. Сиротенко Л.В. 121 |
| 86. Плешков Л.Д. 38 | 102. Спасский Б.А. 201 |
| 87. Подчезерцев Н.О. 108 | 103. Степанов Ю.И. 284 |
| 88. Пономарева Г.Ю. 75 | 104. Тайницкий А.А. 231, 284 |
| 89. Попов А.Г. 64 | 105. Трофимов Р.Н. 50 |
| 90. Пузик А.Ю. 80 | 106. Тюрина И.М. 303 |
| 91. Пыжьянов Ю.Б. 168 | 107. Хмурчик В.Т. 415 |
| 92. Рогозин М.В. 23 | 108. Христенко Л.А. 222 |
| 93. Рудаковская Е.Г. 180 | 109. Худеньких К.О. 318 |
| 94. Рыбальченко А.Я. 23 | 110. Цветков Г.А. 272, 275 |
| 95. Савич А.Д. 260 | 111. Широбоков В.С. 93 |
| 96. Се Минцзюнь 260 | 112. Шулаков Д.Ю. 247 |
| 97. Сединин А.М. 415 | 113. Щекочихина Е.В. 370 |
| 98. Середин В.В. 398 | 114. Щербаков С.В. 308, 312 |
| 99. Сидоров Ю.Л. 275 | 115. Ядзинская М.Р. 404 |
| 100. Симанов А.А. 187 | |

Содержание

Общие вопросы	3
Минералогия, литология, полезные ископаемые.....	57
Геология нефти и газа.....	112
Геофизика, геофизические методы.....	162
Гидрогеология и карст.....	299
Инженерная геология и геоэкология.....	358
Авторский указатель.....	442

Научное издание

ГЕОЛОГИЯ И ПОЛЕЗНЫЕ ИСКОПАЕМЫЕ ЗАПАДНОГО УРАЛА

Сборник научных статей

Выпуск 2(39)

Издаётся в авторской редакции

Компьютерная верстка: *П. А. Красильников*

Подписано в печать 14.05.2019. Формат 60×84/16
Усл. печ. л. 25,46. Тираж 100 экз. Заказ 91

Издательский центр
Пермского государственного
национального исследовательского университета.
614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15

Типография ПГНИУ.
614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15