

ПЕРМСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

ГЕОЛОГИЯ И ПОЛЕЗНЫЕ ИСКОПАЕМЫЕ ЗАПАДНОГО УРАЛА

Сборник научных статей
Выпуск 3(40)



Пермь 2020

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 3(40)

Под общей редакцией П. А. Красильникова



Пермь 2020

УДК 550.8+622
ББК 26.3
Г36

Геология и полезные ископаемые Западного Урала [Электрон-
Г36 ный ресурс] : сборник научных статей / под общ. ред. П. А. Краси-
льникова ; Пермский государственный национальный исследова-
тельский университет. – Пермь, 2020. – Вып. 3(40). – 17 Мб ; 321 с. –
Режим доступа: [http://www.psu.ru/files/docs/science/books/sborniki/
geologiya-i-poleznye-iskopaemye-zapadnogo-urala-40.pdf](http://www.psu.ru/files/docs/science/books/sborniki/geologiya-i-poleznye-iskopaemye-zapadnogo-urala-40.pdf). – Заглавие с
экрана.

ISBN 978-5-7944-3085-1
ISBN 978-5-7944-3464-4 (вып. 3(40))

Сборник содержит научные статьи по докладам 40-й Всероссийской науч-
но-практической конференции с международным участием. Статьи посвящены
геологии западного склона Урала, Камского Приуралья и прилегающих терри-
торий. Рассмотрены общие вопросы геологии, проблемы минералогии, литоло-
гии, месторождений твёрдых полезных ископаемых, нефти и газа, а также во-
просы геофизических методов исследования недр, гидрогеологии, карстоведе-
ния, инженерной геологии и геоэкологии.

Для геологов широкого профиля, нефтяников, геофизиков и других специ-
алистов по исследованию недр Земли, добыче полезных ископаемых, экономи-
стов, 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 978-5-7944-3464-4 (вып. 3(40))

© ПГНИУ, 2020

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ГЕОЛОГИИ

В.В. Оборин¹, И.С. Копылов²

¹ ООО «Запуралгидрогеология», г. Пермь

² ПГНИУ, georif@yandex.ru

ОБОСНОВАНИЕ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКОГО ДОИЗУЧЕНИЯ И ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОГО КАРТИРОВАНИЯ МАСШТАБА 1:200 000 ЛИСТА 0-40-X (КИЗЕЛОВСКАЯ ПЛОЩАДЬ)

Приведено обоснование проведения в Кизеловском угольном бассейне в пределах листа 0-40-X гидрогеологического доизучения и геоэкологического картирования масштаба 1:200 000. Государственная гидрогеологическая съемка масштаба 1:200 000 листа 0-40-X была проведена более 50 лет назад в период активной добычи каменного угля. После закрытия угольных шахт изменились гидрогеодинамические, гидрогеохимические и геоэкологические условия региона, которые необходимо изучить.

Ключевые слова: подземные воды, шахтные воды, гидрогеологическое доизучение и геоэкологическое картирование, гидрогеологическая карта, Кизеловский угольный бассейн, Урал.

V.V. Oborin¹, I.S. Kopylov²

¹ LLC «Zapuralgidrogeologiya», Perm

² Perm State University, georif@yandex.ru

SUBSTANTIATION OF HYDROGEOLOGICAL ADDITIONAL STUDY AND GEOECOLOGICAL MAPPING OF 1: 200 000 SCALE 0–40-X (KIZEL SQUARE)

The rationale for conducting in Kizelovsky coal basin within sheet 0-40-X hydrogeological studies and geoecological mapping at a scale of 1: 200 000 is provided. State hydrogeological survey at a scale of 1: 200 000 sheet 0-40-X was carried out more than 50 years ago during the period of active mining coal. After the closure of coal mines, the hydrogeodynamic, hydrogeochemical, and geoecological conditions of the region changed, which must be studied.

Key words: groundwater, mine water, hydrogeological additional study and geoecological mapping, hydrogeological map, Kizelovsky coal basin, Urals.

Введение

Зону затопления шахт Кизеловского угольного бассейна (КУБ) относят к территориям экологического кризиса, а по отдельным участкам – экологического бедствия (Копылов, Пьянков, Михалев, Коноплев, 2007; Копылов, 2011). Сложившаяся геоэкологическая обстановка объясняется тем, что закрытие шахт, прекращение водоотлива и их последующее затопление произошло фактически стихийно, в период экономического кризиса 90-х годов XX в., при отсутствии должного гидродинамического обоснования и выполнении необходимых инженерных мероприятий. Последствия – изменения гидродинамических и

гидрохимических характеристик природных водоносных комплексов, формирование техногенного водоносного горизонта (ТВГ).

На территории КУБ активно функционировало 16 шахт и 17 участков на которых, для обеспечения добычи угля, существовала система мощного водоотлива, по отдельным шахтам, достигающая 80-90 тыс. м³/сут. В пределах водоносных горизонтов, воды которых были вовлечены в водоотлив, образовалась депрессионная зона длиной до 100 км, шириной до 30 км. С 1993 г. началось закрытие шахт, которое завершилось в 2000 г., на территории КУБ горное производство было свернуто и огромные подземные горные выработки оказались затопленными. Благодаря хорошим коллекторским свойствам вмещающих пород надугленосных водоносных горизонтов, подземные воды за 5-7 лет восстановили свое естественное гидродинамическое состояние. Уровень подземных вод достиг поверхности, появились новые высокодебитные родники, изменилась гидрология водотоков. Изменилась общая гидрогеодинамическая характеристика региона.

Произошедшие изменения вызвали комплекс негативных последствий. Основные из них: разгрузка агрессивных шахтных вод на поверхность через родники и наклонные горные выработки; загрязнение вышележащих пресных водоносных горизонтов, водозаборов через природную и техногенную трещиноватость, скважины, подземные горные выработки, карстовые полости.

Созданная в процессе угледобычи система выработанных пространств, образует целый техногенный водоносный горизонт с присущими только ему особыми гидродинамическими условиями миграции минерализованных вод, особенностям формирования химического состава вод. Воды этого горизонта, изливающиеся из выработок, сохраняют кислую реакцию (рН – 2,7-3,5), имеют сухой остаток – до 22 г/л, содержание сульфатов – до 12,6 г/л, железа – до 4 г/л.

Площадь ТВГ, его объем, специфику и гидродинамику развития необходимо выяснить в процессе специальных гидрогеологических исследований и картирования для дальнейшего прогноза, планирования развития территории, для принятия управленческих решений, оценки степени защищенности пресных водоносных горизонтов, оценки геоэкологической обстановки региона испытывавшего воздействия техногенной катастрофы.

Гидрогеологическая изученность

Первые отрывочные упоминания о подземных водах и карстовых явлениях относятся к XVIII-XIX векам.

Систематическое изучение гидрогеологии района начинается с 30-х годов XX в. в связи с вопросами разведки и эксплуатации КУБа (М.С. Гуревич, О.Л. Эйно, С.В. Ильин, Ю.А. Данилевский, А.А. Смирнов, В.П. Тебеньков, П.В. Васильев, А.А. Васильев, П.С. Шеин, С.Н. Смоленский и др. под общим руководством Г.С. Буренина). В 1934 г. создается Уральская научно-исследовательская карстовая станция, начато проведение систематических и детальных исследований гидрогеологии и карста КУБа (Ю.А. Данилевский, М.Д. Бунина, Н.А. Алексеева, С.В. Ильин, В.В. Белов, Н.П. Емшанов, Г.Е. Фисенко и др. под научным руководством М.С. Кельманского). Гидрогео-

логическое изучение территории проводилось трестами: «Кизелуголегеология», «Союзшахтоосушение», «Гипрокоммунводоканал» и др.

С 50-х г. XX в. начался новый этап активной разведки КУБа сопровождающийся значительным объемом гидрогеологических исследований проводившихся более комплексно и качественно. Появляется большое количество работ научного характера, имеющих важное теоретическое и практическое значение. В 1955 г. И.А. Печеркиным была защищена диссертация на тему «Подземные шахтные воды Кизеловского каменноугольного бассейна».

В шестидесятые и последующие годы Уралгидроэкспедицией и Пермской гидрогеологической партией были проведены ряд обобщающих и картосоставительских работ, которые остаются весьма значимыми в анализе гидрогеодинамического, гидрогеохимического состояния КУБа в условиях интенсивной добычи угля, достигшей в 1959 г. своего максимума (свыше 12 млн. т.) и максимальными водопритоками в шахты достигавших 2800-3500 м³/ч. В дальнейшем угледобыча, в связи с отработкой запасов и осложнившимися горно-геологическими условиями, стала свертываться, шахты стали закрываться (с 1993 г.). Одновременно резко уменьшились объемы геологоразведочных работ.

Государственная гидрогеологическая съемка масштаба 1:200000 листа 0-40-X была проведена в 1966-1968 гг. (Поповцев и др., 1968ф). На территории, при составлении гидрогеологической карты листа было выделено два района: Предуральский краевой прогиб и Западно-Уральская зона, входящая в состав Уральской складчатой области. В Предуральском прогибе основные водоносные горизонты и комплексы приурочены к пермским отложениям. Основная часть водных ресурсов локализуется здесь в зонах интенсивной трещиноватости, связанных с соляной тектоникой. В пределах Западно-Уральской зоны складчатости подземные воды локализуются в линейно вытянутых трещиноватых закарстованных зонах, приуроченных к ослабленным участкам, омоложенным неотектоническими подвижками.

При проведении геологического доизучения масштаба 1:200000 листа 0-40-X (Снитко и др., 2009ф) И.С.Копыловым была составлена гидрогеологическая карта листа 0-40-X по новой легенде с обновленными данными (рис. 1). В дальнейшем проводился ряд гидрогеологических исследований: по гидрогеологии и карсту КУБ (Имайкин А.К., Имайкин К.К., 2013; Катаев и др., 2019), по гидрогеологической стратификации (Копылов, 2014, 2015), с применением ГИС-технологий и дистанционного зондирования для выделения водообильных зон, связанных с неотектонической трещиноватостью по геоактивным зонам (Копылов, 2011, 2013, 2014), а также региональные геоэкологические, гидрогеохимические исследования и картографирование (Бачурин, 2006; Бачурин, Фетисова, 2018, Копылов и др., 2012, 2014, 2016, 2018).

За последние десятилетия накоплен огромный объем фактологического материала по: геологии, гидрогеологии, геоэкологии, геофизике, геохимии, гидрогеохимии (выполненных ФГУП «Геокарта-Пермь, ООО «Запуралгидрогеология», ПГНИУ и др.), который необходимо обобщить.

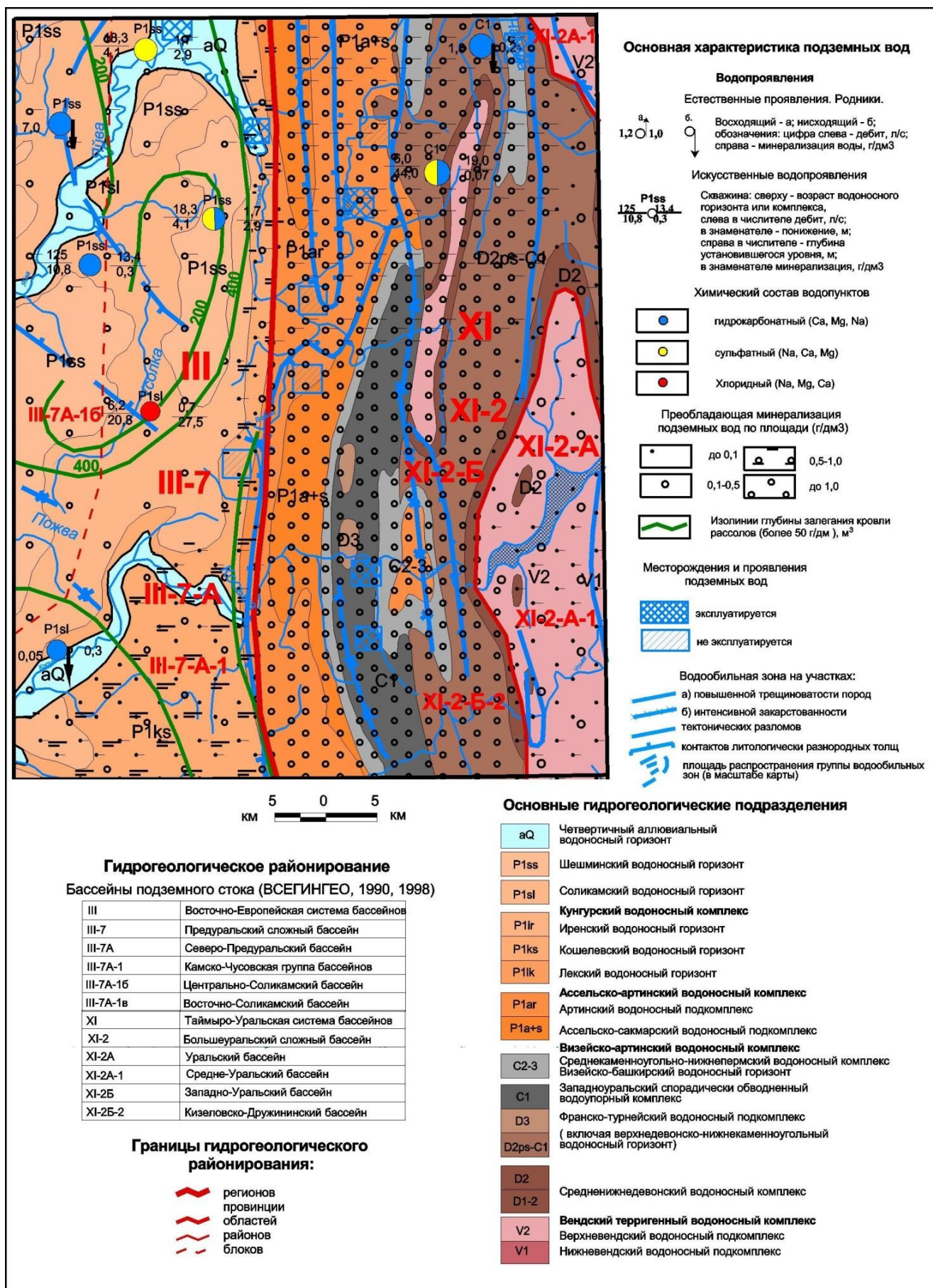


Рис. 1. Гидрогеологическая карта листа 0-40-X масштаба 1:500 000 (Копылов, 2009ф)
Проводимые тематические работы в последние годы по КУБ эколого-географического характера по различным грантам имеют больше популяриза-

ционный характер (публикации, презентации, «круглые столы», «базы данных», ведение сайта и др. мероприятия) и практически не имеют новой гидрогеологической информации, а та, которая приведена, содержит неточности. Так, гидрогеологическая карта в монографии Н.Г. Максимовича и С.В. Пьянкова (2018) «Кизеловский угольный бассейн: экологические проблемы и пути решения», автором которой является И.С. Копылов (2016) приведена без ссылки на автора; ссылки на гидрогеологическое районирование – не верные. Сам «концептуальный» подход к улучшению экологической ситуации на территории КУБ без кондиционной гидрогеологической и геоэкологической картографической основы и профессионального гидро- и геоэкологического анализа является далеко не полным и по сути – бесполезным.

Цель работы: Обоснование постановки гидрогеологического доизучения и геоэкологического картирования масштаба 1:200 000 Кизеловской площади (лист 0-40-X). Площадь проектируемых работ составляет 4268 км². Географическое положение листа определяется координатами 58°40' - 59°20' с.ш. и 57°00' - 58°00' в.д.

Основные геологические задачи:

- Гидрогеологическое расчленение геологического разреза с выделением различных типов водовмещающих пород, уточнение их вещественного состава, фациальной изменчивости и мощности в соответствии с принципами гидрогеологической стратификации (ВСЕГИНГЕО, 1998, 1999); выявление и картографирование условий залегания и распространения выделенных гидрогеологических подразделений.
- Выявления масштабов и направленности гидрогеологических, гидрогеохимических, экогеологических процессов в современных техногенных условиях КУБ, в т.ч. очагов и районов загрязнения подземных вод и геологической среды (ГС) в целом.
- Определение естественного состояния ГС, в т.ч. выявление геохимического фона и региональных геохимических барьеров.
- Разработка комплексных мероприятий по рациональному использованию и охране подземных вод и ГС, в т.ч. выбор размещения народнохозяйственных объектов с учетом охраны подземных вод от загрязнения.
- Выявление площадей для постановки поисков и подземных вод хозяйственно-питьевого назначения.

Основные методы и последовательность проведения работ:

- Сбор, систематизация, анализ фондовых и опубликованных материалов. Подготовка и составление банка данных картографической и фактографической информации, составление и утверждение проектно-сметной документации.
- Уточнение гидрогеологической стратификации и границ распространения гидрогеологических подразделений с учетом новой информации и дешифиро-

вания материалов аэрокосмических съемок (МАКС), в т.ч. техногенных горизонтов шахтных вод которых ранее в природе не существовало.

- Морфоструктурный и морфонеотектонический анализы. Составление геодинамической основы для эколого-геологической карты с выделением геодинамических активных и стабильных зон и участков.

- Проведение наземных гидрогеологических, геоэкологических маршрутов, обследование заброшенных и действующих горных выработок, карстовых пещер, действующих водозаборов, одиночных скважин, колодцев, родников, водотоков, водоемов, мест самоизлива шахтных вод и «техногенного» водоносного горизонта; обследование техногенных объектов (в т.ч. свалок ТБО).

- Проведение поисковых гидрогеологических маршрутов с комплексом специализированных работ.

- Площадное геохимическое и гидрохимическое опробование (по почвам, донным отложениям, подземным и поверхностным водам).

- Выборочное опробование растительного и снежного покрова.

- Переинтерпретация геофизических материалов прошлых исследований и геофизические работы методом ВЭЗ и КВЭЗ (на выделенных участках).

- Гидрометрические исследования.

- Бурение гидрогеологических скважин до 70 м и более 100 м., опытно-фильтрационные и каротажные работы.

- Изучение естественной защищенности подземных вод от загрязнения.

- Обследование действующих водозаборов.

- Обследование техногенных объектов негативно влияющих на ГС, в том числе свалок твердых бытовых отходов (ТБО).

- Топогеодезические работы.

- Лабораторные работы.

- Камеральная обработка материалов, картосоставительские работы, составление отчета НИР.

- Формирование электронной базы данных по листу 0-40-Х.

В результате исследований должны быть составлены современные гидрогеологическая и эколого-геологическая карты масштаба 1:200 000 листа О-40-Х (Кизеловская площадь) с объяснительным текстом на основе которых подготовлены к изданию и изданы Государственная гидрогеологическая и эколого-геологическая карты масштаба 1:200 000.

Отчетные материалы включают комплект основных и вспомогательных карт, текст отчета, а также графические и текстовые приложения, фактографические данные (каталоги опорных родников, скважин, ведомости химического анализа и т.д.).

Основными картами являются:

- Карта фактического материала масштаба 1:100 000.

- Гидрогеологическая карта масштаба 1:200 000, сопровождаемая гидрогеологическими разрезами, колонкой.

- Эколого-геологическая карта масштаба 1:200 000.

- Карта оценки экологического состояния геологической среды масштаба 1:200 000.

Вспомогательными картами масштаба 1:200 000 являются:

- Карта естественных ресурсов подземных вод (модулей подземного стока).
- Карта защищенности подземных вод от загрязнения.
- Карта концентраций отдельных компонентов и соединений в почвах, породах зоны аэрации, подземных водах.
- Карта техногенной нагрузки.
- Карта оценки неотектонической активности.
- Карта ландшафтов.

В отчете НИР в соответствии с (Основные положения..., 2001; Принципы..., 1998; Сборник методических документов..., 2001; Требования..., 1990, 1995, 2001) проводится обобщение: гидрогеологической; геоэкологической информации; приводятся общие сведения о территории работ, истории горно-геологического освоения территории, характеристике хозяйственной деятельности, гидрогеологической и геоэкологической изученности, методике работ; гидрогеологических, геоморфологических, инженерно-геологических, гидрогеологических условиях, эколого-геологической характеристике территории (современном состоянии геологической среды и ее компонентов с оценкой воздействия на них техногенных факторов); определяются и выделяются узловые зоны и участки для постановки более детальных исследований. Основные карты выполняются в традиционном и электронном вариантах, вспомогательные представляются в виде электронных слоев. Создается цифровая база данных «Гидрогеология и геоэкология листа О-40-Х (Кизеловская площадь)».

Выводы

Все вышеизложенные материалы определяют необходимость постановку объекта в Программу геологоразведочных работ за счет Федерального бюджета из следующих соображений:

- Площадь листа является природной лабораторией природно-техногенных процессов произошедших в горно-промышленном районе в условиях кризиса (техногенной катастрофы).
- Необходимо создать кондиционные гидрогеологическую и геоэкологическую карты нового поколения масштаба 1:200 000 листа О-40-Х к дополнению недавно выполненной работе по ГДП-200 данного листа (Геокарта-Пермь, 2009ф) для подготовки к изданию полного комплекта Государственной геологической карты масштаба 1:200 000 листа О-40-Х.
- Необходимо провести оценку современного состояния месторождений питьевых и технических подземных вод нераспределенного фонда недр в пределах листа О-40-Х.
- Выделить водообильные зоны и перспективные участки для постановки поисково-оценочных работ на пресные подземные воды для обеспечения водоснабжения населенных пунктов на территории листов: О-40-Х.

- Определить бальнеологическую значимость минеральных вод территории КУБа (бром-иодные воды; кислые шахтные воды насыщенные микрокомпонентами железа, кремния, марганца и германия).
- Без современной гидрогеологической основы сложно формировать инвестиционную привлекательность региона. Без гидрогеологического и геоэкологического обеспечения невозможны предполагаемые проекты развития горнодобывающей промышленности (алмазы, углеводороды, калийные соли, уголь, золото, полиметаллы).

Библиографический список

1. *Бачурин Б.А.* Экологические проблемы горнопромышленных районов Пермского края // *Экология и промышленность России.* 2006. № 4. С. 32-35.
2. *Бачурин Б.А., Фетисова Н.Ф.* Гидрогеохимия техногенеза Кизеловского угольного бассейна // *Геологическая эволюция взаимодействия воды с горными породами.* 2018. С. 332-335.
3. *Имайкин А.К., Имайкин К.К.* Гидрогеологические условия Кизеловского угольного бассейна во время и после окончания его эксплуатации, прогноз их изменений. Пермь, 2013. 112 с.
4. *Катаев В.Н., Золотарев Д.Р., Ермолович И.Г.* Особенности развития карста в Кизеловском угольном бассейне // *Геология и полезные ископаемые Западного Урала.* 2019. №. 2(39). С. 326-336.
5. *Копылов И.С.* Гидрогеохимические аномальные зоны Западного Урала и Приуралья // *Геология и полезные ископаемые Западного Урала.* 2012. № 12. С. 145-149.
6. *Копылов И.С.* Линеаментно-блоковое строение и геодинамические активные зоны Среднего Урала // *Вестник Пермского университета. Геология.* 2011. № 3. С. 18-32.
7. *Копылов И.С.* Основные водоносные комплексы Пермского Прикамья и перспективы их использования для водоснабжения // *Успехи современного естествознания.* 2014. № 9-2. С. 105-110.
8. *Копылов И.С.* Подземные воды западного склона Среднего Урала и их перспективы для водоснабжения // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований.* 2015. № 6-3. С. 460-464.
9. *Копылов И.С.* Поиски и картирование водообильных зон при проведении гидрогеологических работ с применением линеаментно-геодинамического анализа // *Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета.* 2013. № 93. С. 468-484.
10. *Копылов И.С.* Принципы и критерии интегральной оценки геоэкологического состояния природных и урбанизированных территорий // *Современные проблемы науки и образования.* 2011. № 6. С. 285.
11. *Копылов И.С.* Результаты и перспективы региональных гидрогеологических работ в Пермском крае и их геоинформационное обеспечение // В сборнике: *Геоинформационное обеспечение пространственного развития Пермского края. Сборник научных трудов. ГИС центр ПГНИУ.* Пермь, 2013. С. 34-40.
12. *Копылов И.С.* Региональные геологические факторы формирования экологических условий // *Успехи современного естествознания.* 2016. № 12. С. 172-177.
13. *Копылов И.С.* Формирование микроэлементного состава и гидрогеохимических аномальных зон в подземных водах Камского Приуралья // *Вестник Пермского университета. Геология.* 2014. № 3 (24). С. 30-47.
14. *Копылов И.С., Даль Л.И.* Геоэкологическая оценка и устойчивость природной среды Кизеловского района // В сборнике: *Геоэкология, инженерная геодинамика, геологическая безопасность* сборник научных статей по материалам Международной научно-практической конференции, посвященной 40-летию кафедры инженерной геологии и охраны недр Перм-

ского университета. Пермский государственный национальный исследовательский университет. 2018. С. 92-110.

15. Копылов И.С., Лунев Б.С., Наумова О.Б., Маклашин А.В. Геоморфологические ландшафты как основа геоэкологического районирования // Фундаментальные исследования. 2014. № 11-10. С. 2196-2201.

16. Копылов И.С., Наумов В.А., Спасский Б.А., Маклашин А.В. Геоэкологическая оценка горно-промышленных и нефтегазоносных закарстованных районов Среднего Урала // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 5. С. 678.

17. Основные положения по составлению серийных легенд Государственных гидрогеологических карт масштаба 1:200 000 и 1:1 000 000 (ВСЕГИНГЕО, 2001).

18. Отчет по геологическому доизучению масштаба 1:200 000 листов О-40-Х (Кизел) и О-40-ХVI (Лысьва), проведенному в 2006-2009 гг. / Г.П. Снитко, Т.В. Харитонов, И.С. Копылов и др. Пермь, 2009. Пермский филиал ФГУ «ТФИ по Приволжскому федеральному округу».

19. Поповцев В.А. и др. Гидрогеологическая карта СССР масштаба 1:200 000 лист О-40-Х. Отчет Пермской гидрогеологической партии по результатам гидрогеологической съемки за 1966-68 гг. Пермь, 1968. Пермский филиал ФГУ «ТФИ по Приволжскому федеральному округу».

20. Принципы гидрогеологической стратификации и районирования территории России. МПР РФ, М., 1998.

21. Районирование территории Пермской области по степени риска возникновения чрезвычайных ситуаций природного и природно-техногенного характера с экологическими последствиями / И.С. Копылов, С.В. Пьянков, В.В. Михалев, А.В. Коноплев // Сб. статей «Состояние и охрана окружающей среды Пермского края в 2006 году». Пермь. 2007. С.229-231, ил.-238.

22. Сборник методических документов: создание гидрогеологических карт с применением компьютерных технологий (методические материалы). МПР России, М., 2001.

23. Требования к геолого-экологическим исследованиям и картографированию масштаба 1:200 000, М., ВСЕГИНГЕО, 1990» (с уточнениями).

24. Требования к гидрогеологическому доизучению площадей масштаба 1:200 000 с эколого-геологическими исследованиями и картографированием. М., ВСЕГИНГЕО, 1995.

25. Требования к цифровым гидрогеологическим картам масштаба 1:1 000 000, 1:200 000 и разрезам к ним». МПР России, 2001.

СИЛУРИЙСКИЙ ЭМЕРСИВНЫЙ РУБЕЖ НА ТЕРРИТОРИИ ЮЖНОГО ПРИТИМАНЬЯ

Эмерсивная тектоническая обстановка на территории Южного Притиманья продолжалась около 140 млн лет. Завершение ее фиксируется силурийским эмерсивным рубежом. В настоящей работе рассматриваются возможные литологические индикаторы континентального режима в раннесилурийское время. Таковыми могут являться ветрогранники каменистых пустынь, обнаруженные в основании силурийских отложений. Своеобразие ландшафта и климата территории может оказаться информативным для определения фаций россыпеносной формации.

Ключевые слова: Пермский край, Южное Притиманье, силур, ордовик, эмерсивный рубеж, ветрогранники, фации пустынь.

Y.G. Paktovsky
Perm State University, urijpaktovskij65@gmail.com

THE SILURIAN FRONTIER OF EMERSION STAGE IN THE TERRITORY OF SOUTH CIS-TIMAN

The emersion stage lasted about 140 million years in the territory of South Cis-Timan. The Silurian frontier of emersion stage fixes its end. This paper considers possible lithological indicators of the continental regime in the Early Silurian time. Such may be ventifacts of rocky deserts that we discovered at the base of Silurian deposits. Clarification of landscape and climate **characteristics will help determine facies of the placer formation.**

Key words: Perm region, South Cis-Timan, emersion stage, Silurian frontier, Ordovician, ventifacts, facies of deserts.

Для территории Южного Притиманья в настоящее время устанавливаются две важные вехи развития: 1) байкальская коллизия Русской и Печорской плит и 2) герцинская коллизия Восточно-Европейской платформы и Западно-Сибирской плиты (Нечуехин и др., 2009). Оба события сопровождалась эмерсией новообразованных континентов, причем герцинская эмерсивная фаза продолжается до сих и изучена несравненно лучше и детальнее байкальской. Каледонский тектонический этап представляется промежуточным звеном между ними. Эмерсия байкальского времени смыкается с началом каледонского цикла, эмерсивная фаза которого устанавливается только по ее завершении. Такая неопределенность на границе байкальского и каледонского тектонических этапов допускает инвариантность решений и палеореконструкций (Пактовский, 2019). До сих пор отрезок времени поздний венд – кембрий остается одним из наиболее темных в глобальных палеореконструкциях с участием континента Балтика после байкальской коллизии (Пучков, 2010).

Эмерсивная фаза древнепалеозойского (Бубнов, 1960), или каледонского, цикла отвечает наивысшему подъему платформы, когда образуются континентальные фациальные ассоциации: аллювиальные, пойменные, прибрежно-континентальные, предгорные, фангломератовые и т.п. (Маслов и др., 2001). Долгое время считалось, что континентальных отложений в силуре нет или они еще не обнаружены (Наливкин, 1962), поэтому выявленные в результате геологосъемочных работ на западном склоне Урала терригенные отложения в основании силура (Ишков и др., 1967) заслужили упоминания в учебниках по отечественной геологии (Милановский, 1996).

В современной стратиграфии Южного Притиманья отложениям лландовери (S_1) отвечает местная колчимская свита, разделенная на две пачки: терригенную (в основании) и карбонатную. По литологии и генезису ее рационально разделить на две подсвиты: нижнюю (S_1kl_1) и верхнюю (S_1kl_2). Нижняя подсвита колчимской свиты изучалась нами на северо-восточной периклинали Колчимской антиклинали Полюдово-Колчимского антиклинория, в зоне соприкосновения палеозойских и неопротерозойских пород в пределах контура месторождения Южная Рассольная. На этом участке проведено литологическое и малообъемное опробование. Подстилающие палеозой неопротерозойские отложения представлены здесь тонким переслаиванием аргиллитов, алевролитов и песчаников кочешорской свиты (V_2kc) характерного вишневого цвета. Отложения силура залегают на породах венда с резким угловым и крупным стратиграфическим несогласием (Чочиа, 1955). Временной диапазон несогласия, по известным датировкам пород, составляет около 140 млн лет (изотопный возраст кочешорской свиты (V_2kc) 569 млн лет определен К-Ar методом по глаукониту (Серебренников, 1983), колчимской (S_1kl) – 421 и 428 млн лет К-Ar и Rb-Sr методами по тонким глинистым фракциям (Езерский, 2000). Это и есть время устойчивого континентального (плитного) тектонического режима и эмерсивной тектонической обстановки на границе протерозоя и палеозоя, завершение которой фиксируется силурийским эмерсивным рубежом на территории Южного Притиманья.

В настоящей работе пойдет речь о возможных индикаторах континентальных обстановок в раннесилурийское время на территории Южного Притиманья по новым данным, полученным в результате изучения силурийских и подстилающих их отложений в центральной и западной частях месторождения Южная Рассольная. К моменту опробования (2019 г.) добычной полигон месторождения не разрабатывался более пяти лет. Но во время отработки ЗАО «Уралалмаз» контакт кочешорской и колчимской свит был вскрыт с помощью тяжелой техники, и часть слоя песчаников в основании силура была вывернута экскаватором из коренного залегания и перевернута (подошвой вверх) в виде крупных (1,2х0,6 м) глыб. Строение терригенной толщи силура на исследуемом участке реконструировано нами следующим образом (снизу вверх): 1) кварцитовидные гравелиты и гравийные кварцитопесчаники; 2) гравийные кварцевые песчаники; 3) мелкозернистые кварцевые песчаники. Описание приводится ниже.

Слой 1. Кварцитовидные гравелиты и гравийные кварцитопесчаники светло-серые, частично раздробленные и дезинтегрированные; на отдельных плитчатых их обломках отмечаются зеркала скольжения с параллельно направленными бороздами на их поверхности. Зерна кварца размером до 4 мм, в основном 1–2 мм; встречаются также редкие почти изометричные гальки (ок. 1 см) серого, голубовато-серого и белого непрозрачного кварца. Мощность слоя 0,1–0,6 м. Слой 1, возможно, по причине невыдержанной мощности и частичной дезинтеграции доступен наблюдению только в открытых горных выработках, как это произошло в случае, описанном нами. Однако, он легко узнаваем по присутствию кварцитовидных гравелитов и гравийных кварцитопесчаников в его составе.

Слой 2. Гравийные песчаники светло-серые с желтовато-зеленоватым оттенком, кварцевые, крепкие. Отличительной особенностью этого слоя является его насыщенность угловатыми дресвяно-щебнистыми обломками размером 1–5 см кварцитовидных светло-серых песчаников, плотно впаянных в породу (рис. 1). Кровля слоя имеет контакт ровный и четкий, без видимых следов размыва и перерыва. Несмотря на то, что некоторые обломки выступают в подошве слоя, оказавшейся на поверхности и уже препарированной дождями, выколотить их с помощью молотка и зубила оказалось почти не возможно. Мощность 0,1 м.



Рис. 1. Угловатые обломки (ветрогранники?) в основании силура

Слой 3. Мелкозернистые кварцевые песчаники светло-серые с желтоватым оттенком, крепкие, скальные, слоистые, с мощностью слоев 0,2 м, с ортогональной отдельностью. Элементы залегания: аз. пад. СВ 40° , угол $4-5^{\circ}$. В подошве слоя отмечаются редкие, рассеянные щебнистые обломки кварцитовидных песчаников. С поверхности на глубину до 5 см по слоистости и отдельности глыбы песчаников ожелезнены и покрыты ржаво-коричневыми пленками гидроксидов железа. До отработки месторождения песчаники перекрывались рыхлым комплексом отложений (Молчанова, Езерский, 2002). Видимая мощность слоя 0,4–0,6 м. Песчаники слоя 3 в виде скальной плиты наблюдаются на

всем протяжении фронтальной части надвига в пределах месторождения Южная Рассольная. Эта «плита» переменной мощности (от 0,4 в центральной части месторождения до 4,0 м – в западной) является своеобразным литологическим маркером в основании силура.

Несмотря на небольшую мощность, считать непрерывным этот разрез мешает несколько обстоятельств. Кварцитовидные гравелиты и кварцитопесчаники в основании силура (слой 1) вообще не характерны и не встречены предшественниками ни в одном из типов разрезов Южного Притиманья (Снитко и др., 2000). Угловатые щебнистые обломки кварцитовидных песчаников также нигде не были описаны. Вхождение их в состав слоя 2, свидетельствуют о том, что породы нижележащего слоя подверглись разрушению и выветриванию. Присутствие этих обломков в подошве слоя 3 говорит о том, что захоронение их произошло достаточно быстро, без значительного окатывания в речном потоке или в волноприбойной зоне. Нахождение угловатых щебнистых обломков в основании силура тем удивительнее, что, следуя схеме трансгрессивного осадконакопления, здесь ожидало было встретить окатанный галечный материал.

Отсюда следуют еще несколько выводов. Между слоями 1 и 2, 3 существует стратиграфический перерыв, отмеченный сменой фациальных условий образования характерных для них осадков. Индикаторным признаком такой смены могут служить угловатые щебнистые обломки кварцитовидных песчаников. По морфологии эти обломки больше всего напоминают ветрогранники (вентифакты). Эти природные образования заслуживают отдельной статьи. В соответствии с известной классификацией (Карлов, 1951; Айнемер, 1960) среди них выявлены уплощенные одногранники, призматические двугранники, пирамидальные трех-четырёх- и многогранники, округленные ветрогранники с некоторыми их разновидностями по форме, то есть четыре группы ветрогранников из пяти, по Н.Н. Карлову, за исключением фигурных. Поверхность граней обломков – гладко-шероховатая, матовая, не всегда ровная; наиболее правильные пирамидальные обломки имеют вид как будто слегка приплюснутый. Единичные образцы (клиновидные трехгранники, изометрические многогранники) со следами окатывания, могут свидетельствовать о пребывании их в водном потоке. Поскольку в литературе описаны, в основном, вентифакты относительно недавних геологических эпох и современных пустынь (Обручев, 1956), но никак не раннего палеозоя и тем более протерозоя (Марченко, 1983), принадлежность встреченных нами природных образований к ветрогранникам на данный момент корректно выразить в качестве гипотезы.

По микроописанию (петрограф Е.М. Томилина) в песчаниках ветрогранников преобладает бесцементное контактное соединение зерен кварца (65%) и обломков различных пород (35%), которое характеризуется конформной структурой. Зерна кварца хорошо сортированы, субизометричной формы с равномерным угасанием со следами регенерации в виде каемок. Из акцессорных минералов встречается клинопироксен (рис. 2). В тяжелой фракции протолочной пробы из кварцитовидных гравийных песчаников слоя 1 также установлены моноклинные пироксены. По генезису обломков пород в составе ветрогранников (кварциты, гранитоиды) можно сделать вывод о влиянии на их образование пород

кристаллического фундамента Русской плиты (Ибламинов и др., 2019). Учитывая длительный континентальный этап развития Южного Притиманья на силурийском эмерсивном рубеже, это более, чем вероятно. Возможно, по этой причине и на геологической карте И.Д. Ишкова (1967) в средней части месторождения (еще не открытого) Южная Рассольная изображено пятно ордовикских отложений. Интересно также отметить, что по данным предшественников (Серебренников и др., 1983) кварцитовидные гравелиты и кварцитопесчаники встречаются в средней толще ордовика (O_3pl_2) в разрезе скважины 24, пробуренной на восточном склоне г. Помянённый Камень. Они описаны в виде обломков. Поскольку других упоминаний о кварцитовидных породах на силурийском эмерсивном рубеже в регионе нет, было бы интересно сопоставить их с породами слоя 1 описываемого разреза. Если это сопоставление верно, то стратиграфический перерыв между слоями 1 и 2, 3 получает дополнительное подтверждение, как и тот факт, что контакт между ними осложнен тектоническими процессами. Последние устанавливаются по тому, что объект исследования находится во фронтальной части надвига.

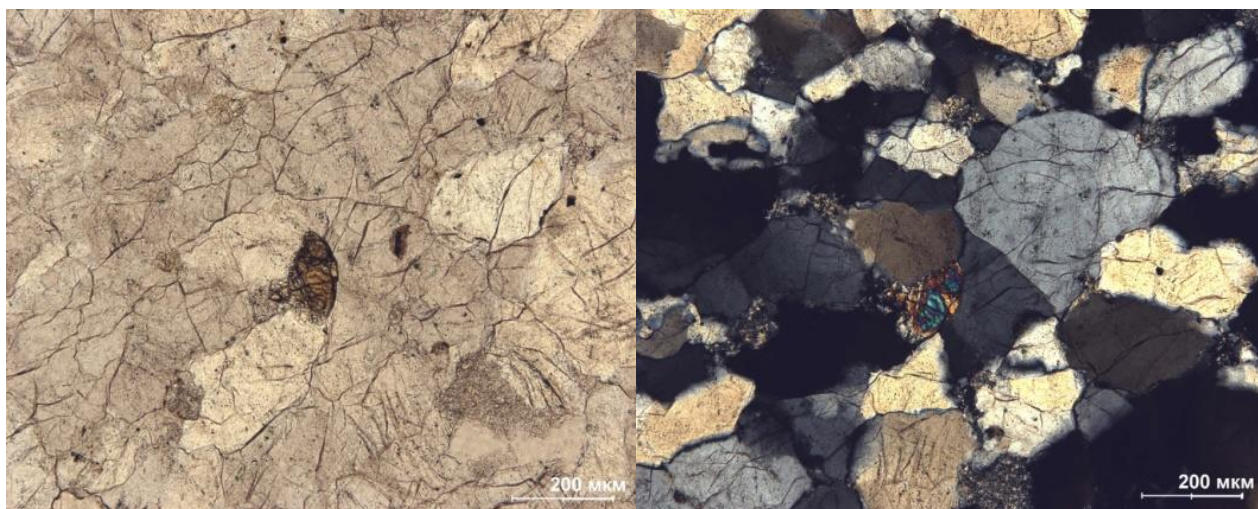


Рис. 2. Микроструктура кварцевого песчаника ветрогранников с зерном клинопироксена в центре

Если подвести краткие и предварительные итоги, то следует отметить следующее. В изученном разрезе нижняя его часть (слой 1) является досилурийскими образованиями, скорее всего, ордовикскими. Условия для формирования ордовикских кор выветривания в регионе были неблагоприятными, в отличие от территории располагавшейся севернее Манитаньрдской аллювиальной равнины (Клюжина, 1985). На плохую сохранность, вплоть до полного уничтожения, дополнительно повлияла надвиговая тектоника завершения герцинской складчатости. Продуктами экзогенного выветривания на силурийской эмерсивном рубеже являются ветрогранники. Их образование происходило в условиях каменистой пустыни с временными потоками (Наливкин, 1956) ордовикского времени. Своей сохранностью они обязаны достаточно быстрой силурийской трансгрессии. За отсутствием в раннем палеозое наземной флоры и фауны редкие литологические свидетельства ландшафтного своеобразия и климата кон-

тинентов могут оказаться весьма информативными, в том числе и для определения фаций россыпеносной формации (Шуб, 1988).

Библиографический список

1. Айнемер А.И. О ветрогранниках в эоловых осадках заунгузской свиты // Тр. ВСЕГЕИ. Т. 42. Л.: Гос. науч.-тех. изд-во, 1960. С. 245–248.
2. Бубнов С.Н. Основные проблемы геологии. М.: Изд-во МГУ, 1960. 234 с.
3. Ибламинов Р.Г., Алванян А.К. Региональная минерагения общераспространенных полезных ископаемых (на примере Пермского края). Пермь, 2018. 120 с.
4. Ибламинов Р.Г., Гершанок В.А., Пактовский Ю.Г. Влияние фундамента на геологическое развитие Западного Урала // Геология и полезные ископаемые Западного Урала: сб. науч. ст. / под общ. ред. П.А. Красильникова. Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2019. Вып. 2(39). Пермь, 2019. С. 9–15.
5. Карлов Н.Н. О номенклатуре и классификации ветрогранников // Проблемы физической географии. Т. XVI. Л.: Изд-во АН СССР, 1951. С. 174–178.
6. Ключина М.Л. Палеогеография Урала в ордовикском периоде. М.: Наука, 1985. 287 с.
7. Маслов А.В., Крупенин М.Т., Гареев Э.З., Анфимов Л.В. Рифей западного склона Южного Урала (классические разрезы, седименто- и литогенез, минерагения, геологические природные памятники природы). Т. 1. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2001. 351 с.
8. Марченко В.И. Континентальные фации // Справочник по литологии / под ред. Н.Б. Вассовича, В.Л. Либровича, Н. В. Логвиненко, В.И. Марченко. М.: Недра, 1983. С. 368–382.
9. Милановский Е.Е. Геология России и ближнего зарубежья (Северной Евразии): Учебник. М.: Изд-во МГУ, 1996. 448 с.
10. Молчанова Е.В., Езерский В.А. Терригенные отложения колчимской свиты – древнейший вторичный коллектор алмазов на Северном Урале // Терригенные осадочные последовательности Урала и сопредельных территорий: седименто- и литогенез, минерагения. Материалы 5 Уральского регионального литологического совещания. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2002. С. 164–165.
11. Наливкин Д.В. Геология СССР. М.–Л.: Изд-во АН СССР, 1962. 814 с.
12. Наливкин Д.В. Учение о фациях. Географические условия образования осадков. В 2т. Т. 2. М.–Л.: Изд-во АН СССР, 1956. 396 с.
13. Нечеухин В.М., Душин В.А., Оловянишников В.Г. Палеогеодинамические ассоциации и тектоно-геодинамические элементы Урало-Тимано-Палеоазиатского сегмента Евразии: объяснительная записка к Геодинамической карте Урало-Тимано-Палеоазиатского сегмента Евразии масштаба 1:2 500 000. Екатеринбург: УрО РАН; Урал. гос. горный ун-т, 2009. 158 с.
14. Обручев В.А. Основы геологии. М.: Изд-во АН СССР, 1956. 360 с.
15. Пактовский Ю.Г. Стадийность геологического развития территории Южного Притиманья в позднем протерозое // Вестник Пермского университета. Геология. 2019. Том 19, № 2. С. 26–34.
16. Снитко Г.П., Попова Т.Н., Горбунова М.К., Курбацкая Ф.А. Геологическое строение Верхне-Ухтымской антиклинали на Северном Урале // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении. Научные чтения памяти П.Н. Чирвинского: сб. науч. Статей / Перм. гос. ун-т. Пермь, 2000. С. 156–163.
17. Чочиа Н.Г. Геологическое строение Колво-Вишерского края. Л.: Гостоптехиздат, 1955. 407 с.
18. Шуб В.С. Формационно-минерагенический анализ мезозойско-кайнозойского цикла развития Урала // Геологическое развитие Урала: достижения и проблемы. М., 1988. С. 88–98.

АЛМАЗОНОСНОСТЬ И ТЕКТНИКА УРАЛА, КРАТКОЕ ОБОБЩЕНИЕ ГОСУДАРСТВЕННОГО ГЕОЛОГИЧЕСКОГО КАРТИРОВАНИЯ МАСШТАБА 1:1000000

Статья содержит краткое обобщение алмазности и тектоники Урала по данным Государственного геологического картирования масштаба 1:1000000. Результатом обобщения являются Схема тектонического районирования и главных разломов Урала с установленной алмазностью. Сделан вывод о закономерности тектоники и алмазности Урала.

Ключевые слова: алмаз, алмазность, тектоника, разломы, надвиги, Урал

A.G. Popov
Perm State University, p11p@mail.ru

DIAMONDS AND TECTONICS URAL, A GENERALIZATION OF STATE GEOLOGICAL MAPPING SCALE 1:1,000,000

The article contains a brief generalization of the diamond content and tectonics of the Urals according to the State Geological Mapping on a scale of 1: 1,000,000. The result is the Scheme of tectonic zoning of the Urals and the Scheme of the main faults of the Urals with diamonds content. The conclusion is drawn about the regularities of tectonics and diamondiferousness of the Urals.

Key words: diamond, diamond content, tectonics, faults, overthrusts, Urals

Алмазность Урала освещена достаточно хорошо по Северному, Среднему и отчасти Южному Уралу (Кухаренко, 1955; Ишков, 1966, Харитонов, 2011; Попов, 2003-2019). В данном кратком обобщении территория Урала принята по номенклатурным листам Государственного геологического картирования (ГГК) масштаба 1:1000000 по восточной долготе от 54 до 66 градусов и по северной широте от 50 до 75 градусов от Казахстана до Новой земли. Это 12 листов карт номенклатуры: R-40; R-41; Q-40; Q-41; P-40; P-41; O-40; O-41; N-40; N-41; M-40 и M-41. Данные ГГК и геолого-съёмочных работ (ГСР) находятся на сайте Всероссийского научно-исследовательского геологического института им. А.П. Карпинского (ВСЕГЕИ) в общем доступе (<https://vsegei.ru/>). В пределах листов алмазность представлена россыпями в виде линейных, точечных объектов, пунктов россыпной минерализации с единичными находками алмазов, а так же предполагаемые первоисточники алмазов (рис. 1).

Ниже приведена краткая полистная информация по алмазности.

Лист R-40. Алмазы не установлены. Однако, Ю.Д. Шульга считает, что в качестве первоисточников алмазов можно рассматривать небольшие тела рогачевского и раховского лапроитовых комплексов пермь-триаса. Алмазы в породах комплекса и на территории листа не обнаружены (Журавлёв, Кораго, Костин, Зуйкова и др., 2014).

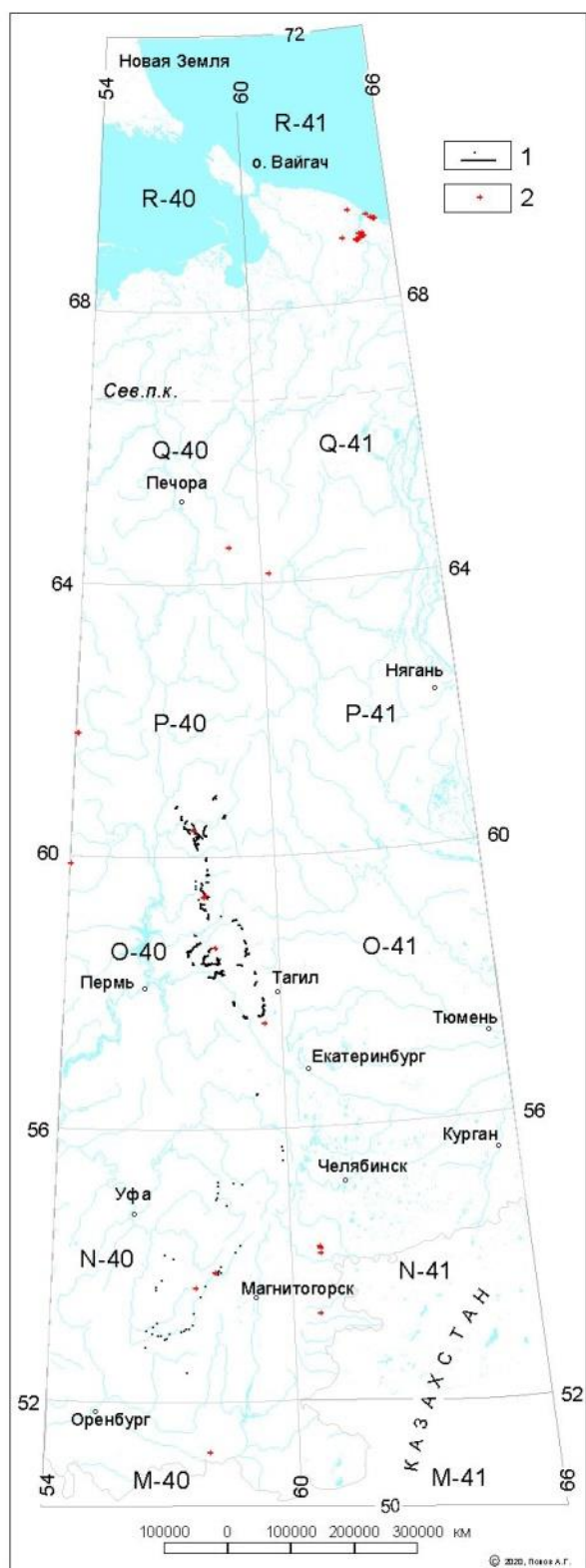


Рис. 1. Алмазоносность Урала:

1 – россыпные месторождения, проявления и пункты минерализации, 2 – пункты минерализации с единичными находками алмазов и предполагаемые первоисточники россыпных алмазов.

Лист R-41. Установлены техногенные, импактные алмазы в Карской и Усть-Карской астроблемах. Средняя масса алмазов 0,07 мг, размер до 2 мм. Содержание алмазов в импактитах 0,006-1,2 карат/т, максимально до 50 карат/т. Продуктивность импактитов по алмазам – 200 т/м². Ресурсы оценены в 4,53 тыс. т, как абразивное сырье. Установлены аллювиальные россыпи ближнего сноса импактных алмазов рр. Кара, Анагора и др. Средняя масса алмазов в аллювии 0,78 мг, максимальный размер алмаза до 4 мм, содержание 0,15 карат/м³. Интересный факт – в протолочке из песчаников кембрий-ордовика обнаружен кристалл алмаза размером 0,5 мм (Шишкин, Шкарубо, Молчанова, Маркина и др., 2012).

Лист Q-40. В протолочке из брекчии, отобранной на притоке р. Вангерью, обнаружен обломок кристалла алмаза. Размер алмаза не указан. По А.А. Соболевой порода протопочки похожа на эруптивную брекчию. По Л.И. Лукьяновой и А.В. Бельскому в 1987 г. на листе установлен кимберлит и лампроит в хартейском магматическом комплексе кембрия. Комплекс залегает на Ляпинском антиклинории (блоке) Центрального Уральского поднятия в виде небольшого тела, в 90 км северо-западнее пос. Саранпауль. В разрезе тело развито на контакте между рифеем и палеозоем. Алмазы в породах комплекса не установлены (Водолазская, Опаренкова, Зархидзе, Иванов и др., 2013).

Лист Q-41. В аллювии р. Сертынья на восточном склоне Урала найдено два мелких кристалла алмаза (Генералов, 1970ф). На Тагильском мегасинклинории (блоке) в гипербазитах установлены тела, отдельно выделенные в сертыньинский лампроит-кимберлитовый комплекс. В корях выветривания в единственном месте обнаружены один кристалл размером 1,8 мм и 13 осколков алмазов размером – 0,5-0,25 мм (Шишкин, Астапов, Кабатов, Казак, Колесник, Котельников, Кудрин, Лихотин, Митюшева, Молчанова, Попов, Пухонто, Ремизов, Савенкова, Файбусович, Черкашин, 2007).

Лист Р-40. Установлена устойчивая россыпная алмазоносность с промышленным содержанием алмазов. Количество россыпей по листу составляет 30% от всех известных россыпей алмазов Урала. Масса промышленных алмазов 0,5-1 карат, максимальная масса 30 карат, среднее содержание 6-10 мг/м³ и более. Запасы алмазов по Государственному балансу запасов (ГБЗ) составляют более 0,4 млн. карат. Прогнозные ресурсы по ГСР оценены в 15 млн. карат (Водолазская, Иванов, Петров, Зархидзе, Кириллин, Кузенков, Курзанов, Стороженко, Берлянд, Жданов, Мельгунов, Полянская, Полякова и др., 2005). Необходимо отметить, что месторождение алмазов Рассольниское, отнесенное к гипотетическому туффизитовому типу, учитываемое ГБЗ, авторами геологической карты листа игнорировано. Действительно, данное месторождение является древней россыпью алмазов промежуточного силурийского коллектора плотика Рассольнинской депрессии.

На западной границе листа по Тиманскому надвигу выявлено два проявления алмазов Осень и Ручгуель в конгломератах девона. Прогнозные ресурсы алмазов этих проявлений, категории Р₃, составляют 0,2 млн. карат, при мощности полезной толщи в 2 м. Южнее проявлений, в отложениях депрессии миоцен-плиоценового возраста, обнаружены два кристалла алмаза (на карту не вынесено). Известная россыпь алмазов Ичетью, с координатами 61 градус 24 минуты северной широты и 53 градуса 3 минуты восточной долготы, тоже расположена по Тиманскому надвигу и в конгломератах девона, но на один градус западнее рассматриваемой территории листа.

Все россыпи алмазов листа пространственно связаны с конгломератами и гравелитами девона и силура.

Лист Р-41. По данным ГСР алмазы не обнаружены (Брадучан, Волобуев, Воронин, Глазырина, Глезер, Жиганов, Ковригина, Кудрин, Лебедева, Лихотин, Матюшков, Петров, Стефановский, Стороженко, Файбусович, Хрякова, Чуйко, 2007).

Лист О-40. Алмазоносность тоже хорошо изучена и установлена устойчивая россыпная алмазоносность с промышленным содержанием алмазов (Водолазская В. П., Тетерин И. П., Кириллов В. А., Лукьянова Л. И. и др., 2015). Количество россыпей по листу составляет 70% от всех известных россыпей алмазов Урала. Средняя масса алмазов промышленных россыпей – 0,25 карат, значительно меньше, чем по листу Р-40. Запасы алмазов по ГБЗ составляют более 0,4 млн. карат. А вот прогнозные ресурсы алмазов оценены в 74 млн. карат. Все россыпи пространственно связаны с кластическими толщами девона, силура и ордовика, но авторами карты это не акцентировано.

Выделено одно месторождение – Рыбьяковское и два проявления гипотетического туффизитового (флюидно-эксплозивного) типа. В действительности месторождение и проявления являются кайнозойскими россыпями. Алмазы (габитус, облик, размеры и масса), а так же параметры алмазоносности (содержание, встречаемость, запасы алмазов, мощности полезной толщи и вскрыши) идентичны значениям россыпей Урала.

Л.И. Лукьяновой в 2000-х г. выявлен кимберлит и лампроит в единственном месте на Западно-Уральской зоне складчатости в благодатском магматическом комплексе установленным А.М. Зильберманом в 1971 г. В породах благодатского комплекса были обнаружены очень мелкие алмазы. Непосредственно в кимберлите алмазы не найдены.

Лист О-41. По данным ГСР алмазы не обнаружены (Петров, Жиганов, Стефановский, Шалагинов, Петрова, Овчинников, Гертман, 2011).

Лист N-40. Установлены проявления и пункты минерализации россыпной алмазоносности аллювия р. Белой и ее притоков, а так же аллювия рр. Нугуш и Юрюзань, Рязяк, Ай и Зилим. Средняя масса алмазов менее 0,2 карата, максимальная 0,34 карата. Промышленные россыпи не установлены. По М.П. Бархатову и ЮМ. Петрову россыпные проявления алмазов связаны с кластическими толщами ордовика и девона, промежуточными коллекторами алмазов. В 2005-10 гг. ОАО «Башкиргеология» зафиксировано два проявления алмазов – Шатакское и Маярдакское на Башкирском антиклинории (блоке) Центрально-Уральского поднятия в лампроите и лампрофире. На Маярдакском проявлении обнаружено 10 алмазов, на Шатакском – один (Князев, Князева, Сначев, Жданов и др., 2018).

Лампроиты и лампрофиры составляют колымбаевский магматический комплекс триаса или позднего палеозоя, возраст точно не определен. Кроме этого устойчивая россыпная алмазоносность вблизи пород комплекса не установлена отмечаются только пункты минерализации.

Лист N-41. Установлено три пункта минерализации и найдено три обломка алмаза в аллювии р. Санарки и протолочках из песчаника с галькой брединской свиты раннего карбона на Восточно-Уральском блоке. Во флишидной толще свиты развиты базальты и андезибазальты щелочные умереннокалиевые, аналогичные вулканитам Курильской островной дуги и Камчатской континентальной окраины (Пужаков, Савельев, Кузнецов, Шох и др., 2013).

Лист М-40. В породах среднего мела (альбских отложениях) Центрально-Уральского поднятия представленного песком с галькой и гравием найден один алмаз размером 0,25 мм (Лядский, Кваснюк, Жданов, Чечулина и др., 2013).

Лист М-41. Алмазы не найдены (Лядский, Кваснюк, Жданов, Чечулина и др., 2013).

Самая высокая плотность россыпей более 6 на 2000 км² отмечается на территории листов О-40 и Р-40 (без учета пунктов минерализации и предполагаемых первоисточников алмазов). Напрашивается продолжения ареала повышенной плотности россыпей на восток за пределы листа Р-40 к россыпи Ичетью (рис. 2).

По материалам ГГК и ГСР масштаба 1:100000 (2005; 2007; 2011-2015) автор обобщил полистные схемы тектонического районирования и объединил их в единую Схему тектонического районирования Урал со структурами I и II порядка (рис. 3).

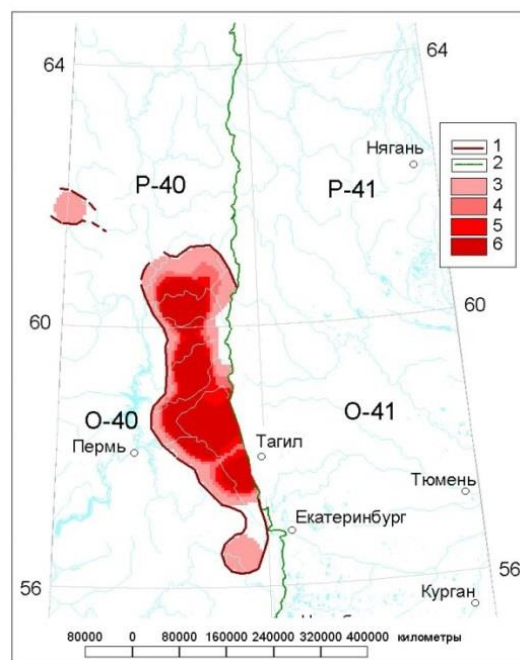


Рис. 2. Плотность россыпей алмазов: 1 – контур развития россыпей, 2 – уральский водораздел, 3 – 1 россыпь, 4 - 5 россыпей, 5 – 10 россыпей, 6 – более 10 россыпей на 2000 км².

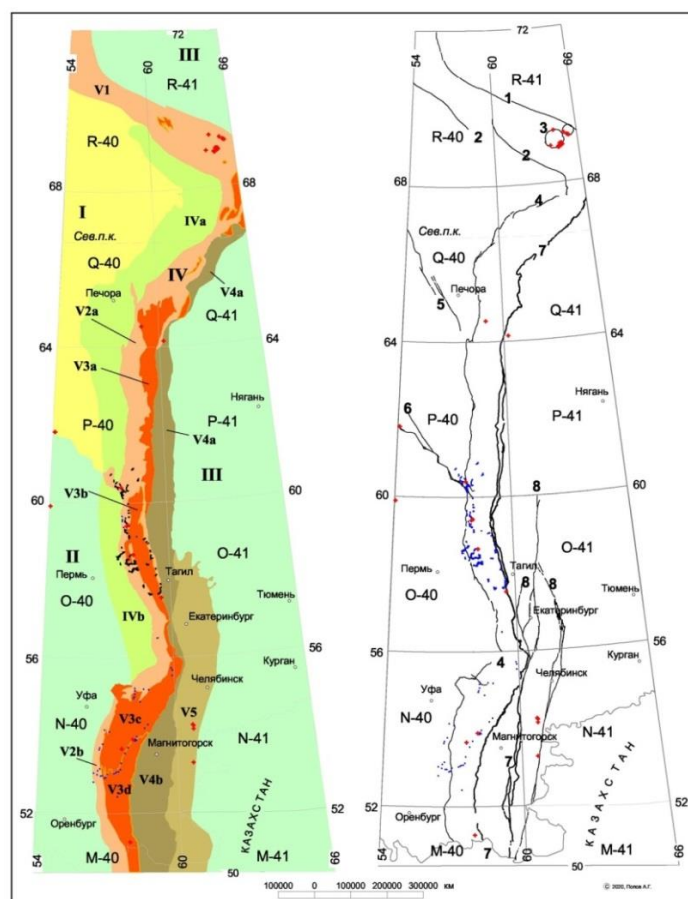


Рис. 3. Слева - схема тектонического районирования и алмазоносность Урала; справа- схема главных региональных разломов Урала и алмазоносность (россыпи алмазов показаны синим цветом). Условные обозначения даны на рис. 1.

Причем структуры II порядка на платформах (плитах) не выделены из-за их необходимости для минерализации алмаза. На авторской Схеме тектонического районирования Урала показаны следующие структуры:

- I. Тимано-Печорская плита (ТПП).
- II. Восточно-Европейская платформа (ВЕР).
- III. Западно-Сибирская плита (ЗСП).
- IV. Предуральский краевой прогиб (ПКП): а – Тимано-Печорской плиты; б – Восточно-Европейской платформы.
- V. Новоземельско-Урало-Монгольский складчатый пояс.
- V1. Пайхойско-Новоземельская складчатая система (лист R-40), сопоставляется с Западно-Уральской зоной складчатости.
- V2. Западно-Уральская зона складчатости (ЗУЗС):
 - а – Северная часть сливается с Пайхойско-Новоземельской складчатой системой (лист R-40), трактуется, как Новоземельско-Уральский складчато-надвиговый пояс (лист R-41) и, как Лемвинский аллохтон (лист Q-41);
 - б – Южная часть, называется, как Западно-Уральская складчатая мегазона (листы Q, P, O -40) и Западно-Уральский мегамоноклиноорий (лист N и M-40).
- V3. Центрально-Уральское поднятие (ЦУП):- на севере это выступы докембрийского фундамента (лист R-41), Полярно-Уральский блок или антиклинорий, Центрально-Уральский мегаантиклинорий, состоящий из ряда мелких антиклиналий синклиналий и блоков (листа Q-41);
 - а – Ляпинско-Кутимский блок;
 - б – Кваркушско-Каменогорский блок;
 - с – Башкирский блок;
 - д – Залаирско-Уралтауский блок.
- V4. Тагило-Магнитогорский блок (мегасинклинорий) (ТМБ):
 - а – Тагильский;
 - б – Магнитогорский.
- V5. Восточно-Уральский блок (ВУБ) объединяет ряд анигклинориев и синклинорий (листов O-41, N-41, M -41).

Схема почти не отличается от Схемы тектонического районирования И.Д. Соболева с коллегами 1983 г. «Почти отличие» от Схемы Соболева заключается в том, что Печорская синеклиза отнесена к Тимано-Печорской плите, Предуральский краевой прогиб разделен на две части, а на листах N-40 и M-40 он не картируется вовсе, гораздо шире рассматривается Западно-Сибирская плита (платформа), которая по новой Схеме перекрывает восточные структуры Урала, а так же отличием является то, что Схема Соболева не включает Новую Землю и о. Вайгач.

По Схеме тектонического районирования Урала все россыпи сосредоточены на Западно-Уральской зоне складчатости или Западно-Уральской складчатой мегазоне листов P-40 и O-40. Единственная россыпь, точнее пункт минерализации с находками трех мелких алмазов в аллювии р.Косье на Центрально-Уральском поднятии абсолютно не показательна.

Так же по материалам ГГК масштаба 1:100000 (2005; 2007; 2011-2015) автор обобщил дизъюнктивную тектонику с выделением основных и достоверно установленных главных региональных геологических разломов (рис. 3). На Схеме дизъюнктивной тектоники Урала показаны следующие главные разломы.

1. Байдарацкий разлом, разделяющий Новоземельско-Урало-Монгольский складчатый пояс и Западно-Сибирскую плиту.
2. Вашуткино-Талотинский ограничивающий складчатый пояс от Тимано-Печорской плиты.
3. Карские астроблемы.
4. Главный Западно-Уральский надвиг.
5. Припечорский разлом.
6. Тиманский надвиг.
7. Главный Уральский разлом.
8. Восточно-Уральские разломы.

Главные разломы Урала являются, по сути, трещинами в литосфере, а некоторые из них могут быть подводными каналами, если хотите, флюидов. Однако, основная алмазоносность пространственно связана только с региональным Главным Западно-Уральским и Тиманским надвигами (листы О-40 и Р-40). Данные надвиги не являются глубинными, их заложение в разрезе составляет глубину не более 7-10 км (Попов, 2017). Отличительной чертой Тиманского надвига являются мелкие аллохтонные клиппы докембрийского фундамента. Схожей территорией по тектонике, для установления устойчивой алмазоносности, является территория листа Q-40 с Припечорским разломом тиманского направления, но докембрийские клиппы, развитые по Тиманскому надвижку на Припечорском разломе отсутствуют.

Выводы

1. Устойчивая алмазоносность Урала развита только на Западно-Уральской зоне складчатости (мегазоне) – надвиговой зоне сгруживания пород Восточно-Европейской платформы с аллохтонными клиппами докембрийский пород ЦУПа. Впрочем, что было известно автору и ранее.
2. Перспективная территория для установления первоисточников алмазов устойчивой россыпной алмазоносности является территория Тиманского надвига.
3. Основной внезапный вывод, заключается в том, что явление алмазоносности Урала предопределено не статической тектоникой, а геодинамикой, основной задачей которой, для решения вопроса алмазоносности Урала, является определения геологического времени и места расположения палеократона с кимберлитовым магматизмом.

Библиографический список.

1. Брадучан Ю.В., Волобуев Е.А., Воронин А.С., Глазырина Н.С, Глезер З.И., Жиганов А.В., Ковригина Е.К., Кудрин Е.Н., Лебедева Е.А., Лихотин В.Г., Матюшков А.Д., Петров Г.А., Стефановский В.В., Стороженко Е.В., Файбусович Я.Э., Хрякова Л.А., Чуйко М.А.. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1000000 (третье

- поколение). Уральская серия – Лист Р-41 (Ивдель). Объяснительная записка. - СПб.: Изд-во СПб картфабрики ВСЕГЕИ, 2007. 297 с..
2. *Водолазская В. П., Тетерин И. П., Кириллов В. А., Лукьянова Л. И. и др.* Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1000000 (третье поколение). Серия Уральская. Лист О-40 – Пермь. Объяснительная записка. – СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2015. 497 с.
3. *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.Н., Мельгунов А.В., Полянская Т.Л., Полякова Н.Ф. и др.* Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1000000 (третье поколение). Уральская серия – Лист Р-40 (Североуральск). Объяснительная записка. - СПб.: Изд-во СПб картфабрики ВСЕГЕИ, 2005. 332 с.
4. *Водолазская В. П., Опаренкова Л. И., Зархидзе Д. В., Иванов Н. Ф. и др.* Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1000000 (третье поколение). Серия Уральская. Лист Q-40 – Печора. Объяснительная записка. – СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2013. 365 с.
5. *Государственная геологическая карта (ГГК) РФ лист R-40 масштаба 1:1000000, ВСЕГЕИ, 2014, Единая цифровая модель (ЕЦМ).*
6. *Гидрогеологическая карта РФ лист R-41 масштаба 1:1 000 000, ВСЕГЕИ, 2012, ЕЦМ.*
7. *Гидрогеологическая карта РФ лист Q-40 масштаба 1:1 000 000, ВСЕГЕИ, 2013, ЕЦМ.*
8. *Гидрогеологическая карта РФ лист Q-41 масштаба 1:1 000 000, ВСЕГЕИ, 2007, ЕЦМ.*
9. *Гидрогеологическая карта РФ лист Р-40 масштаба 1:1 000 000, ВСЕГЕИ, 2005, ЕЦМ.*
10. *Гидрогеологическая карта РФ лист Р-41 масштаба 1:1 000 000, ВСЕГЕИ, 2007, ЕЦМ.*
11. *Гидрогеологическая карта РФ лист О-40 масштаба 1:1 000 000, ВСЕГЕИ, 2015, ЕЦМ.*
12. *Гидрогеологическая карта РФ лист О-41 масштаба 1:1 000 000, ВСЕГЕИ, 2011, ЕЦМ.*
13. *Гидрогеологическая карта РФ лист N-40 масштаба 1:1 000 000, ВСЕГЕИ, 2013, ЕЦМ.*
14. *Гидрогеологическая карта РФ лист N-41 масштаба 1:1 000 000, ВСЕГЕИ, 2013, ЕЦМ.*
15. *Гидрогеологическая карта РФ лист М-40, М-41 масштаба 1:1 000 000, ВСЕГЕИ, 2013, ЕЦМ.*
16. *Журавлёв В. А., Кораго Е. А., Костин Д. А., Зуйкова О. Н. и др.* Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1000000 (третье поколение). Серия Северо-Карско-Баренцевоморская. Лист R-39,40 – о. Колгуев – прол. Карские Ворота. Объяснительная записка. – СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2014. 405 с.
17. *Ишков А.Д.* Источники алмазов Уральских россыпей на примере Красновишерского района//Совещание по геологии алмазных месторождений. Пермь. 1966. С.32-35.
18. *Князев Ю. Г., Князева О. Ю., Сначев В. И., Жданов А. В. и др.* Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1000000 (третье поколение). Серия Уральская. Лист N-40 – Уфа. Объяснительная записка. – СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2013. 512 с.
19. *Кухаренко А.А.* Алмазы Урала. Государственное научно-техническое издательство литературы по геологии и охране недр, Москва, 1955, 512 с.
20. *Пужаков Б. А., Савельев В. П., Кузнецов Н. С., Шох В. Д. и др.* Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1000000 (третье поколение). Серия Уральская. Лист N-41 – Челябинск. Объяснительная записка. – СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2013, 415 с.
21. *Лядский П. В., Кваснюк Л. Н., Жданов А. В., Чечулина О. В. и др.* Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1000000 (третье поколение). Серия Уральская. Лист М-40 (Оренбург) с клапаном М-41. Объяснительная записка. – СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2013. 392 с.
22. *Петров Г. А., Жиганов А. А., Стефановский В. В., Шалагинов В. В., Петрова Т. А., Овчинников Р. А., Гертман Т. А.* Государственная геологическая карта Российской

Федерации. Масштаб 1:1 000 000 (третье поколение). Серия Уральская. Лист О-41 – Екатеринбург. Объяснительная записка. – СПб.: Картфабрика ВСЕГЕИ, 2011. 492 с.

23. *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.

24. *Попов А.Г.* Алмазы Урала: краткое обобщение геологического изучения и разработок // Геология и полезные ископаемые Западного Урала. Пермь: Пермский ун-т. 2019. С.64-75.

25. *Попов А.Г.* Россыпи алмазов Урала // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 6; URL: www.science-education.ru/120-16553.

26. *Попов А.Г.* 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.

27. *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.

28. *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.

29. *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.

30. *Попов А.Г.* Алмазоносность уральского типа: анализ и перспективы. Пермская область // Эффективность прогнозирования и поисков месторождений алмазов: прошлое, настоящее, будущее (алмазы-50). Материалы научно-практической конференции, посвященной 50-летию открытия первой алмазной кимберлитовой трубки «Зарница» 25-27 мая 2004 г. Санкт-Петербург: ВСЕГЕИ, 2004. С. 265-267.

31. *Харитонов Т.В.* Библиография по алмазоносности Урала (четвертая дополненная редакция). Пермь, 2011. 836 с. (интернет ресурс)

32. *Шишкин М. А., Астапов А. П., Кабатов Н. В., Казак А. П., Колесник Л. С., Котельников В. Г., Кудрин Е. Н., Лихотин В. Г., Митюшева В. С., Молчанова Е. В., Попов М. Я., Попов П. Е., Пухонто С. К., Ремизов Д. Н., Савенкова Г. Б., Файбусович Я. Э., Черкашин А. В.* Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1000000 (третье поколение). Серия Уральская. Лист Q-41 — Воркута. Объяснительная записка. — СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2007. 541 с.

33. *Шишкин М. А., Шкарубо С. И., Молчанова Е. В., Маркина Н. В. и др.* Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1000000 (третье поколение). Серия Южно-Карская. Лист R-41— Амдерма. Объяснительная записка.— СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2012. 383с.

34. *Электронный ресурс.* Точка доступа: <https://vsegei.ru/> - ГГК РФ. (Дата обращения 21.04.2020)

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ АССОЦИАЦИИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ В МЕНДЕЛЕЕВСКОЙ ТАБЛИЦЕ

Проанализированы геохимические классификации химических элементов В.И. Вернадского, В.И. Гольдшмидта, А.Е. Ферсмана, А.И. Перельмана. Предложена классификация макроэлементов месторождений полезных ископаемых на длиннопериодной форме таблицы Д.И. Менделеева по Г. Реми. Выделены ассоциации элементов магматических базит-гипербазитовых, магмо-метасоматических гранитоидных и щёлочно-гипербазитовых, гидротермальных, экзогенных и газовых месторождений. В таблице имеется возможность наглядно показать возможные естественные ассоциации элементов, а для элементов, характерных для нескольких генетических групп месторождений, показать возможность их концентрации в различных условиях. Например, для алюминия и фосфора показана возможность концентрироваться в магматических и экзогенных месторождениях, для олова – в гидротермальных месторождениях и россыпях.

Ключевые слова: геохимические классификации, ассоциации элементов, месторождения полезных ископаемых.

R.G. Iblaminov
Perm State University, riaminov@psu.ru

GEOCHEMICAL ASSOCIATIONS OF MINERAL DEPOSITS IN THE MENDELEEV TABLE

Geochemical classifications of chemical elements by V. I. Vernadsky, V. I. Goldschmidt, A. E. Fersman, and A. I. Perelman are analysed. The classification of macroelements of mineral deposits on the long-period form of the table of D. I. Mendeleev by G. Remy is proposed. Associations of elements of magmatic basite-hyperbasite, magma-metasomatic granitic and alkaline-hyperbasite, hydrothermal, exogenous and gas deposits are identified. The table provides an opportunity to clearly show possible natural associations of elements, but for elements that are characteristic of several genetic groups of deposits, to show the possibility of their concentration in different conditions. For example, aluminium and phosphorus can be concentrated in magmatic and exogenous deposits, while tin can be concentrated in hydrothermal deposits and placers.

Keywords: geochemical classifications, associations of elements, mineral deposits.

В природе химические элементы концентрируются совместно, образуя естественные геохимические совокупности в месторождениях полезных ископаемых. Например: медно-никелевые руды, вольфрам-молибденовые и т.п.

Большое количество химических элементов, присутствующих на Земле, разнообразие их свойств, а следовательно, поведения в геологических процессах обусловили необходимость выделения среди них совокупностей, характеризующихся близкими свойствами, способностью к совместной миграции, т.е. классификации.

1909 г. Ряды В.И. Вернадского. Первое сообщение на эту тему было сделано в 1909 г. В.И. Вернадским на съезде русских естествоиспытателей и врачей, где он выступил с докладом: «Парагенезис химических элементов в земной коре» (Вернадский, 1910).

Парагенезис, т.е. совместное нахождение химических элементов он рассматривал с позиций изоморфизма. В.И. Вернадский построил 18 *природных изоморфных рядов*. При этом учитывались термодинамические условия. Им были выделены три уровня земной коры: I – кора выветривания, II – область метаморфизации пород, III – область магматизации. Размеры рядов от верхней к нижней зоне увеличиваются, включая всё большее количество элементов (рис. 1).

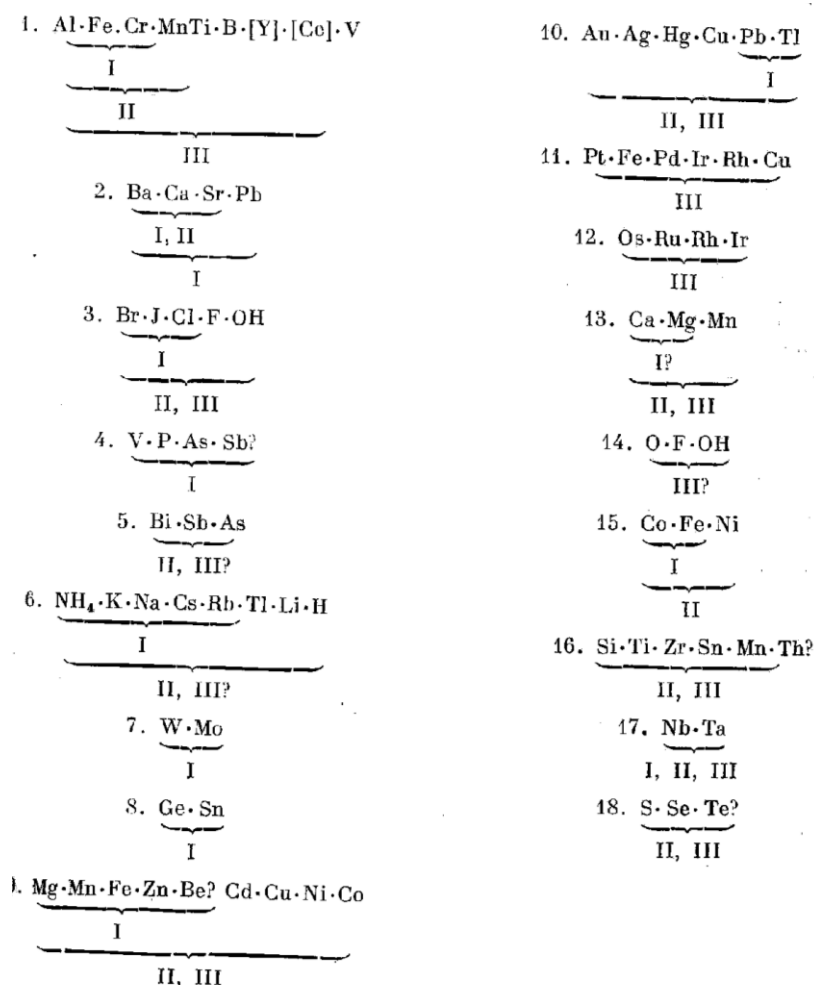


Рис. 1. Изоморфные ряды элементов (Вернадский, 1910)

Таким образом, в основу выделения парагенезисов им положены 1) явление изоморфизма атомов в минералах, 2) термодинамические условия формирования минералов в земных оболочках, т.е. он попытался увязать ассоциации химических элементов со строением Земли.

1923 – 1924 гг. Классификация В.М. Гольдшмидта

Развитием идеи В.И. Вернадского об ассоциациях элементов и их зависимости от термодинамических условий Земли стала планетарная геохимическая

классификация В.М. Гольдшмидта (Goldschmidt, 1924), которая рассматривала распределение химических элементов внутри планет.

В основу его классификации положено представление об образовании планет по принципу зонной плавки металлов. Моделью послужил процесс плавки мансфельдских медистых сланцев, в результате которого образуется вертикальная колонна, состоящая вверху из силикатного шлака, ниже из штейна, содержащего сульфиды железа и меди, а внизу – из металлического железа (Мейсон, 1971, с. 65).

Состав колонны он сопоставил с составом метеоритов, которые бывают каменными, железными и железоканненными (табл. 1). В.М. Гольдшмидт полагал, что метеориты – это обломки планет, состоящих из силикатной коры, окисно-сульфидной мантии и железного ядра.

Таблица 1. Химический состав метеоритов, в заголовках указана встречаемость, % (по Г.В. Войткевичу и др., 1990)

Компонент	Хондриты, 60,1	Ахондриты, 4,8	Железосамен- ные, 3,8	Железные, 31,3	Углистые хондриты
Fe	0,00 – 23,7		27,77 – 48,98	79,63 – 93,76	0,00 – 4,02
Ni	0,00 – 1,88		4,05 – 4,74	5,56 – 18,90	0,00 – 1,43
Co	0,00 – 0,13		0,15 – 0,30	0,48 – 1,01	0,00 – 0,09
FeS	3,66 – 8,09		0,53 – 7,40	0,65 – 4,60	3,66 – 5,65
Cu				0,01 – 0,35	
SiO ₂	21,74 – 38,47	37,12 – 54,01	17,05 – 34,61		21,74 – 34,85
TiO ₂	0,07 – 0,15	0,06 – 0,51			0,07 – 0,15
Al ₂ O ₃	1,59 – 2,18	0,54 – 13,91	0,19 – 4,10		1,59 – 2,18
Fe ₂ O ₃	-	1,17 – 2,62	1,85		
MnO	0,02 – 0,33	0,09 – 0,78	0,08 – 0,22		0,18 – 0,21
FeO	0,23 – 27,34	0,91 – 26,82	4,40 – 7,71		22,86 – 27,34
MgO	15,24 – 24,71	7,10 – 37,43	6,36 – 23,33		15,24 – 23,57
CaO	1,03 – 2,41	0,56 – 24,51	0,18 – 0,89		1,18 – 2,17
Na ₂ O	0,63 – 0,78	0,004 – 1,32	0,07 – 0,17		0,63 – 0,71
K ₂ O	0,05 – 0,23	0,001 – 0,28	0,03		0,05 – 0,23
P ₂ O ₅	0,20 – 0,31	0,01 – 0,22	P – 0,11	P – 0,12–0,29	0,20 – 0,30
H ₂ O	0,10 – 12,86	0,14 – 1,14	0,69		0,10 – 19,17
Cr ₂ O ₃	0,23 – 0,58	0,06 – 0,88	0,17 – 0,68		0,35 – 0,58
NiO	0,11 – 1,53	0,26	0,29 – 0,40		1,19 – 1,53
CoO	0,06 – 0,07				0,06 – 0,07
C	0,03 – 2,99		0,08	0,01 – 0,60	0,19 – 2,99

Приведены минимальные и максимальные средние значения в группах метеоритов

В настоящее время известно, что среди обнаруженных метеоритов большинство (64,9 %) составляют каменные (аэролиты), в том числе 60,1 – хондриты и 4,8 – ахондриты. Примерно в 2 раза меньше (31,3 %) железных метеоритов (сидеритов). Совсем мало (3,8 %) железосаменных (сидеролитов) (Войткевич и др., 1990).

Хондриты состоят из каплевидных выделений (хондр) силикатов (оливина и ромбического пироксена), сцементированных никелистым железом, сульфидом железа (троилитом) и плагиоклазом. В углистых хондритах содержание углеро-

да достигает 4 %. Ахондриты отличаются отсутствием хондр, в них наряду с оливином и ромбическим пироксеном присутствует моноклинный пироксен и плагиоклаз. Железные метеориты состоят из никелево-железного сплава и других минералов, неизвестных на Земле. Содержание железа в них составляет 80 – 90 %, никеля – 5 – 18, кобальта – 0,5 – 1,0. Железо-каменные метеориты (в том числе палласиты) состоят из примерно равных частей каменного (силикатного) и железного материала.

Другой основой классификации являются физические свойства атомов, их атомный объем. Понятие «атомный объем» было введено Л. Мейером. Оно представляет собой отношение атомного веса элемента к его удельному весу в твёрдом, а для газов в жидком состоянии (Щербина, 1972, с. 55).

В.М. Гольдшмидт проанализировал изменение величины атомных объёмов с увеличением порядкового номера химического элемента. Полученная кривая характеризуется чередованием максимумов и минимумов (рис. 2).

На кривой атомных объёмов он выделил 4 группы элементов.

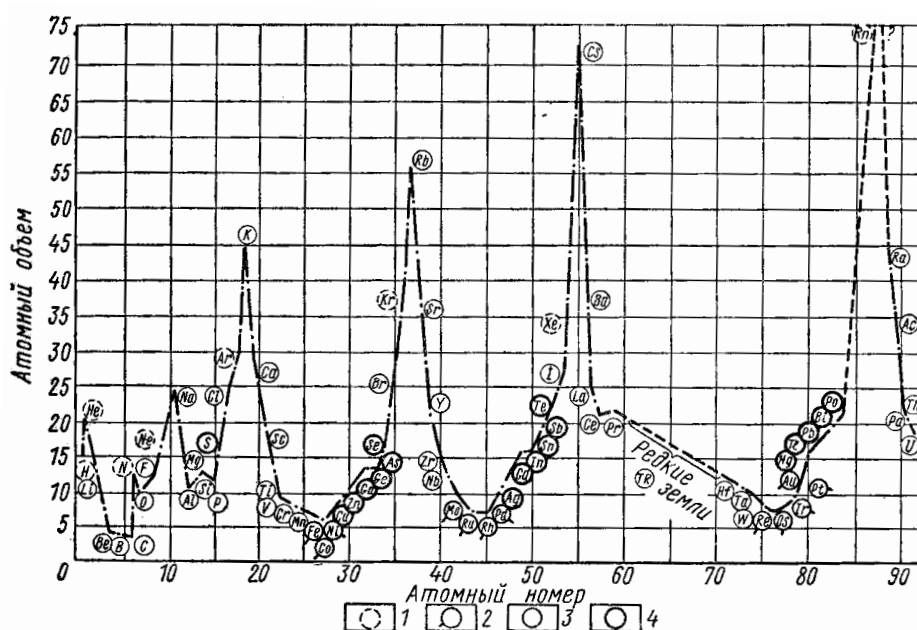


Рис. 2. Кривая атомных объёмов. Атомы химических элементов: 1 – атмосфильные, 2 - сидерофильные, 3 – литофильные, 4 - халькофильные (по В.М. Гольдшмидту из кн. Тугаринова, 1973, с.34)

1-я группа включает элементы, имеющие максимальные значения атомных объёмов – это щелочные металлы и элементы, примыкающие к ним, которые располагаются на нисходящей части экстремумов кривой. Эту группу элементов В.М. Гольдшмидт назвал *литофильными*, полагая, что они характерны для земной коры.

2-я группа содержит элементы, располагающиеся на нижней части кривой, отличающиеся наименьшим атомным объёмом. Это элементы 8-й группы побочной подгруппы. Сюда входит часть элементов семейства железа (Fe, Co, Ni) платиноиды, а также Mo и Ru. Они названы *сидерофильными*, т.к. содержатся в железных метеоритах.

3-я группа содержит элементы, располагающиеся на подъёме кривой, где объём их увеличивается. Сюда входят элементы нижних строк больших периодов, катионы которых обладают преимущественно 18-электронной оболочкой. Для металлов характерна способность образовывать минеральные соединения с серой. Группа получила название *халькофилы*.

4-я группа – *атмофильные* элементы. Они занимают места около максимумов на кривой – это инертные газы, водород и азот.

1933 г. Классификация А.Е. Ферсмана. Работая над уникальной монографией «Геохимия» (1933), **А.Е. Ферсман** увязал распределение элементов в земной коре с Периодической системой Д.И. Менделеева (1869). Его классификацию можно назвать петрологической, поскольку в ней были выделены элементы различных магм. В основу классификации были положены химические свойства элементов таблицы Д.И. Менделеева. Была использована развёрнутая форма таблицы, в центре которой помещена группа благородных газов. Слева таблица начиналась побочными подгруппами I-й и II-й групп – справа закрывалась побочной подгруппой VIII-й группы. Причём в одну строку помещались элементы разных периодов. В таблице были выделены три геохимических поля (рис. 3).

Элементы Периоды	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	
1	—	—	—	—	—	—	(H)	(He)	(Li)	(Be)	—	—	—	—	—	—	—
2	—	—	(B)	(C)	N	(O)	(F)	Ne	(Na)	(Mg)	—	—	—	—	—	—	—
3	—	—	(Al)	(Si)	(P)	(S)	(Cl)	Ar	(K)	(Ca)	(Sc)	(Ti)	(V)	(Cr)	(Mn)	(Fe) (Co) (Ni)	4
5	(Cu)	(Zn)	(Ga)	(Ge)	(As)	(Se)	(Br)	Kr	(Rb)	(Sr)	(Y)	(Zr)	(Nb)	(Mo)	(Ma)	(Ru) (Rh) (Pd)	6
7	(Ag)	(Cd)	(In)	(Sn)	(Sb)	(Te)	(J)	Xe	(Cs)	(Ba)	(TR)	(Hf)	(Ta)	(W)	(Re)	(Os) (Ir) (Pt)	8
9	(Au)	(Hg)	(TL)	(Pb)	(Bi)	(Po)	?	(Rn)	?	(Ra)	(Ac)	(Th)	(Pa)	(U)	—	—	10

Элементы

○

кислых магм и пневматолитов

○

средних магм

○

сульфидных м-ний

○

ультраосновных магм

Рис. 3. Геохимическая таблица элементов земной коры (Ферсман, 1933)

Поле обычное, включающее три первых периода и верхнюю строку четвёртого (до Ni). В него входят наиболее распространённые элементы, составляющие основу литосферы, гидросферы и атмосферы. *Поле сульфидное* или металлическое (нижнее левое) халькофильных элементов. *Поле кислое* (нижнее правое) состоит из щелочей и щелочных земель и металлов кислотного типа – литофильных элементов.

Внутри названных трёх полей дополнительными знаками выделены элементы кислых магм и пневматолитов, средних магм, ультраосновных магм и сульфидных месторождений.

1979 – 1989 гг. А.И. Перельман, продолжая традиции А.Е. Ферсмана, в учебнике «Геохимия» опубликовал свою более дробную классификацию. Она

построена на развёрнутой форме таблицы Д.И. Менделеева с учётом следующих параметров химических элементов: способности давать газообразные и растворимые соединения, литофильности, халькофильности, сидерофильности, катионогенности и анионогенности. Классификация состоит из трёх групп, включающих 13 подгрупп (Перельман, 1989, с. 410). В первую группу входят элементы, образующие газы, во вторую – щелочные, щелочноземельные металлы и галогены, в третью – остальные литофильные, халькофильные и сидерофильные элементы (рис. 4).

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII			I	II	III	IV	V	VI	VII	0
1	<div><div></div><div>H</div></div>																	<div><div></div><div>He</div></div>
2	<div><div></div><div>Li</div></div>	<div><div></div><div>Be</div></div>	<div><div></div><div>B</div></div>										<div><div></div><div>C</div></div>	<div><div></div><div>N</div></div>	<div><div></div><div>O</div></div>	<div><div></div><div>F</div></div>		<div><div></div><div>Ne</div></div>
3	<div><div></div><div>Na</div></div>	<div><div></div><div>Mg</div></div>	<div><div></div><div>Al</div></div>										<div><div></div><div>Si</div></div>	<div><div></div><div>P</div></div>	<div><div></div><div>S</div></div>	<div><div></div><div>Cl</div></div>		<div><div></div><div>Ar</div></div>
4	<div><div></div><div>K</div></div>	<div><div></div><div>Ca</div></div>	<div><div></div><div>Sc</div></div>	<div><div></div><div>Ti</div></div>	<div><div></div><div>V</div></div>	<div><div></div><div>Cr</div></div>	<div><div></div><div>Mn</div></div>	<div><div></div><div>Fe</div></div>	<div><div></div><div>Co</div></div>	<div><div></div><div>Ni</div></div>	<div><div></div><div>Cu</div></div>	<div><div></div><div>Zn</div></div>	<div><div></div><div>Ga</div></div>	<div><div></div><div>Ge</div></div>	<div><div></div><div>As</div></div>	<div><div></div><div>Se</div></div>	<div><div></div><div>Br</div></div>	<div><div></div><div>Kr</div></div>
5	<div><div></div><div>Rb</div></div>	<div><div></div><div>Sr</div></div>	<div><div></div><div>Y</div></div>	<div><div></div><div>Zr</div></div>	<div><div></div><div>Nb</div></div>	<div><div></div><div>Mo</div></div>	<div><div></div><div>Tc</div></div>	<div><div></div><div>Ru</div></div>	<div><div></div><div>Rh</div></div>	<div><div></div><div>Pd</div></div>	<div><div></div><div>Ag</div></div>	<div><div></div><div>Cd</div></div>	<div><div></div><div>In</div></div>	<div><div></div><div>Sn</div></div>	<div><div></div><div>Sb</div></div>	<div><div></div><div>Te</div></div>	<div><div></div><div>I</div></div>	<div><div></div><div>Xe</div></div>
6	<div><div></div><div>Cs</div></div>	<div><div></div><div>Ba</div></div>	<div><div></div><div>TR</div></div>	<div><div></div><div>Hf</div></div>	<div><div></div><div>Ta</div></div>	<div><div></div><div>W</div></div>	<div><div></div><div>Re</div></div>	<div><div></div><div>Os</div></div>	<div><div></div><div>Ir</div></div>	<div><div></div><div>Pt</div></div>	<div><div></div><div>Au</div></div>	<div><div></div><div>Hg</div></div>	<div><div></div><div>Tl</div></div>	<div><div></div><div>Pb</div></div>	<div><div></div><div>Bi</div></div>	<div><div></div><div>Po</div></div>	<div><div></div><div>At</div></div>	<div><div></div><div>Rn</div></div>
7	<div><div></div><div>Fr</div></div>	<div><div></div><div>Ra</div></div>	<div><div></div><div>Ac</div></div>	<div><div></div><div>Th</div></div>	<div><div></div><div>Pa</div></div>	<div><div></div><div>U</div></div>												

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

Рис. 4. Геохимическая классификация элементов земной коры А.И. Перельмана. Элементы I группы (литофильные, атмофильные и халькофильные): 1 – элементы, образующие химические активные газы (O, H, S, C, N); 2 – инертные газы (Ar, He, Ne, Kr, Xe, Rn). Элементы II группы (литофильные): 3 – типичные щелочные металлы (Na, K, Rb, Cs); 4 – типичные щелочноземельные металлы и литий (Ca, Mg, Ba, Sr, Li, Ra); 5 – галогены (F, Cl, Br, I). Элементы III группы (литофильные, халькофильные и сидерофильные): 6 – литофильные аниогенные элементы (Si, P, B); 7 – литофильные элементы с постоянной валентностью, образующие и катионы и анионы (Al, Zr, Hf, V, TR, Sc, Th, Be); 8 – литофильные и сидерофильные элементы с переменной валентностью, образующие и катионы и анионы (Ti, V, Nb, Ta, U, W, Mo, Re); 9 – сидерофильные металлы группы железа (Fe, Mn, Cr, Ni, Co); 10 – платина и платиноиды (сидерофилы) (Ru, Rh, Pd, Os, Ir, Pt); 11 – халькофильные металлы (Zn, Cu, Pb, In, Cd, Hg, Ag, Bi, Au); 12 – халькофильные неметаллы (As, Sb, Se, Te); 13 – литофильно халькофильные элементы (Ga, Sn, Ge, Tl)

Геохимическая классификация макроэлементов месторождений полезных ископаемых. Она разработана нами в развитие идей А.Е. Ферсмана. На ней показаны ассоциации элементов крупных генетических групп месторождений. За основу была взята длиннопериодная форма изображения таблицы Д.И. Менделеева, приведённая в монографии Г. Реми (1963, с.24). Она отличается, тем, что главная подгруппа элементов третьей группы помещена в правую часть таблицы (рис. 5).

Периоды	Подгруппы элементов																		
	Ia	IIa	IIIb	IVb	Vb	VIb	VIIb	VIIIb			Ib	IIb	IIIa	IVa	Va	VIa	VIIa	VIIIa	
1																	<i>He</i>	He	
2	Li	Be											<i>B</i>	<i>C</i>		<i>N</i>	<i>O</i>	<i>F</i>	Ne
3	N a	M g											Al	Si		P	S	Cl	Ar
4	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge		As	Se	Br	Kr
5	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn		Sb	Te	I	Xe
6	Cs	Ba	TR	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb		Bi	Po	At	Rn
7	Fr	Ra	Ac																



Рис. 5. Развернутая форма Периодической системы элементов Д.И. Менделеева с указанием геохимических ассоциаций месторождений полезных ископаемых

В таблице были выделены 5 совокупностей химических элементов различных генетических групп месторождений.

Совокупность элементов магматических базит-гипербазитовых месторождений включает геохимические семейства железа (Sc, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni) и платиноидов (Ru, Rh, Pd, Os, Ir, Pt), а также щелочноземельный магний и расположенную рядом с никелем медь. Это литофилы Mg, Sc, Ti, V, Cr, Mn, сидерофилы Fe, Co, Ni, Ru, Rh, Pd, Os, Ir, Pt, а из халькофилов Cu.

Совокупность элементов магмо-метасоматических гранитоидных и щелочно-гипербазитовых месторождений включает геохимические семейства молибдена (Y, Zr, Nb, Mo); редких земель (TR), и вольфрама (Hf, Ta, W). кроме того в неё входят легкие и тяжелые щелочные металлы (Li, Rb, Cs), легкий щелочноземельный элемент – бериллий (Be), а также Al и P. Все элементы относятся к литофилам за исключением сидерофильного молибдена.

Совокупность элементов гидротермальных месторождений состоит главным образом из халькофильных элементов. Они образуют ионы с 18 электронной оболочкой на 2-м снаружи слое, и располагаются в нижних строках 4-го, 5-го, 6-го периодов (относятся к побочным подгруппам I и II групп и глав-

ным подгруппам III – VI групп). В 4-м периоде – это Cu, Zn, Ga, Ge, As, Se, 5-м – Ag, Cd, In, Sn, Sb, Te, 6-м – Au, Hg, Tl, Pb, Bi. Кроме того, в совокупность из халькофилов входят сера и её аналоги (S, Se, Te). Из литофилов содержатся фтор (F), тяжёлые щелочноземельные металлы (Ba, Ra), актиноиды (Ac, Th, U), а также W. Сидерофилы представлены молибденом и рением (Mo, Re).

Совокупность элементов экзогенных месторождений образуют большинство щелочных (Li, Na, K, Rb) и щелочноземельных (Mg, Ca, Sr, Ba) металлов, галогены (F, Cl, Br, I) и водород, а также элементы 2-го (B, C, N, O, F), 3-го (Al, Si, P, S) 4-го периодов (семейство железа). В совокупность входят россыпеобразующие металлы: платиноиды, золото, серебро, олово, редкие земли и иттрий, цирконий и гафний, уран, торий.

Совокупность элементов газовых месторождений образуют легкие элементы первого и второго периодов, а также благородные газы (H, He, C, N, O, Ne, Ar, Kr, Xe, Rn). Большинство из них, кроме литофилов C и O, относятся к атмофилам.

В таблице имеется возможность не только наглядно показать возможные естественные ассоциации элементов, но для элементов, характерных для нескольких генетических групп месторождений, можно указать на их концентрации в различных условиях. Например, для алюминия и фосфора показана возможность концентрироваться в магматических и экзогенных месторождениях, для олова – в гидротермальных месторождениях и россыпях.

Геохимические ассоциации могут быть выделены путём исследования корреляционных связей элементов. Так, В.Ф. Мягковым был разработан геохимический метод парагенетического анализа руд, который был применён на многочисленных месторождениях полезных ископаемых.

Знание геохимических ассоциаций важно при прогнозе состава месторождений, а также при выборе ассоциаций элементов, которые планируется определять комплексами ядерно-физических методов при поисках месторождений полезных ископаемых.

Библиографический список

1. Вернадский В.И. Парагенезис химических элементов в земной коре // Дневник XII съезда русских естествоиспытателей и врачей (1909 – 1910). М. 1910. С. 73 – 91.
2. Войткевич Г.В., Кокин А.В., Мирошников А.Е., Прохоров В.Г. Справочник по геохимии. М.: Недра, 1990. 480 с.
3. Гольдшмидт В.М. Три доклада по геохимии / Перевод А.А. Саукова // Ученые записки Пермского университета, приложение к т. II, 1937. 42 с.
4. Мейсон Б. Основы геохимии / Пер с англ. М.: Недра, 1971. 312 с.
5. Мягков В.Ф. Геохимический метод парагенетического анализа руд. М.: Недра, 1984. 126 с.
6. Перельман А.И. Геохимия. М.: Высшая школа, 1989. 528 с.
7. Реми Г. Курс неорганической химии. М.: Изд-во Иностранной литературы. Т. I. 920 с.
8. Тугаринов А.И. Общая геохимия. Краткий курс / учеб. пособие для вузов. М.: Атомиздат, 1973. 288 с.
9. Ферсман А.Е. Геохимия. Т. 1., 1933. Переиздание: Избранные труды. Т. III. М.: Изд-во АН СССР, 1955. 798 с.
10. Щербина В.В. Основы геохимии. М.: Недра, 1972. 296 с.
11. Goldschmidt V.M. Geochemische Verteilungsgesetze. Vidensk. Skrift. 1922 – 1927. II. Beziehungen den geochemischen Verteilungsgesetzen und dem Bau der Atome. 1924, N 4/ 1 – 37.

В.С. Широбоков, И.Я. Илалтдинов
ПГНИУ, shirobokov-vad@yandex.ru;
Ilaldinov@psu.ru

ВЕЩЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ ПОРОД УЧАСТКА КУМРОЧ (КАМЧАТСКИЙ КРАЙ)

В работе описан процесс изучения вещественного состава пород участка Кумроч (Камчатский край), где к настоящему моменту установлено медно-золото-порфировое оруденение. Исследование произведено путём изучения образцов, отобранных с большинства интервалов, вскрытых разведочной скважиной №6301К, представленных породами разного генезиса. Выполнено макроскопическое исследование всего имеющегося материала, на основании которого выделена представительная группа образцов, в дальнейшем изученная в шлифах, протолочках, методами рентгенофлуоресцентного анализа и масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой.

Ключевые слова: Камчатский край, метасоматоз, шлифы, рентгенофлуоресцентный анализ, тяжёлая фракция, масс-спектрометрия с индуктивно связанной плазмой.

V.S. Shirobokov, I. Ya. Ilaldinov
Perm State University, shirobokov-vad@yandex.ru;
Ilaldinov@psu.ru

MATERIAL COMPOSITION OF THE ROCKS FROM THE KUMROCH PROSPECTING SITE (KAMCHATKA KRAI)

The paper describes the process of studying the material composition of rocks from the Kumroch prospecting site (Kamchatka Krai), where copper-gold-porphyry mineralization has been discovered to date. The research was carried out by studying samples taken from most of the intervals uncovered by exploration well №6301K, composed of rocks of different genesis. Based on a macroscopic study of all available material, a representative group of samples was selected. Then it was studied in thin sections, in the form of a dispersed material, by X-ray fluorescence analysis and inductively coupled plasma mass spectrometry.

Key words: Kamchatka Krai, metasomatism, thin sections, X-ray fluorescence analysis, heavy fraction, inductively coupled plasma mass spectrometry.

Участок Кумроч расположен на левобережье р. Быстрой, в ее истоках, и простирается с юго-запада на северо-восток на протяжении 6,0 км, при ширине от 1,5 до 2,5 км. Общая площадь участка около 12 км² (рис. 1). В административном отношении участок входит в состав Усть-Камчатского районного муниципального образования Камчатской области.

В геологическом отношении участок сложен вулканогенно-кремнистыми отложениями позднемелового-палеогенового возраста и терригенными флишоидными отложениями палеоцена, прорванными интрузивными и субвулканическими образованиями среднего и кислого состава миоцен-плиоценового возраста. Интрузивные и субвулканические массивы на участке вскрываются в наиболее глубоко врезуемых каньонах и приподнятых блоках. На менее эродирован-

ных участках преимущественно развиты серии дайковых тел мощностью от 1-3 до 50-70 метров. В бассейнах ручьев Прямого и Фирнового выявлены тела диатремовых брекчий. Эти стратифицированные и субвулканические образования являются рудовмещающими. На отдельных участках они перекрыты лавами дацитов и кварцсодержащих базальтов ниже-среднечетвертичного возраста.

Особенности тектонического строения участка определяются его приуроченностью к Хапицко-Тополовской зоне тектонических нарушений северо-северо-восточного простирания, развившихся в крыле Кумрочского антиклинория и грабен-синклинали, в месте её пересечения системой крупных разломов северо-восточного простирания

Рудовмещающие образования в пределах участка подвергнуты интенсивным гидротермально-метасоматическим изменениям, формируя зону северо-восточного простирания, шириной от 0,5 до 2,0 км и протяженностью более 4,5 км.

Вещественный состав пород участка Кумроч изучен путём лабораторного исследования 37 штучных образцов, отобранных из большинства интервалов, вскрытых разведочной скважиной №6301К. Скважина №6301К пробурена на 63-м профиле северной части участка Кумроч под углом – 32°, азимут бурения 320°, глубина – 414 метров. Устье скважины находится на высоте 850 метров над уровнем моря (рис. 2).

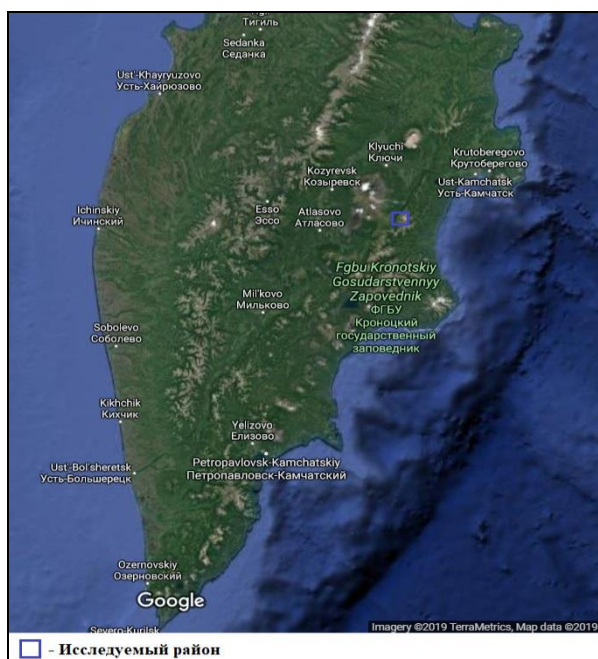


Рис. 1. Географическое положение участка (Google Maps)

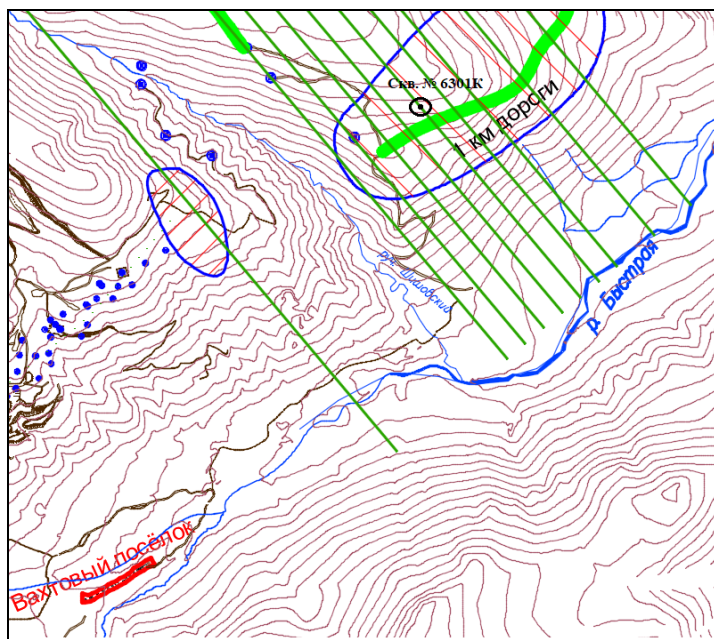


Рис. 2. Расположение скважины №6301К на плане разведочных работ

На первом этапе было выполнено макроописание всех имеющихся 37 образцов с применением бинокулярного микроскопа МБС-2. Макроскопическое изучение образцов подтвердило, что скважиной №6301К вскрыты горизонты, сложенные терригенными, метасоматическими, вулканическими и гипабиссальными магматическими породами.

Верхняя часть разреза скважины сложена вулканическими породами (рис. 3). Для них характерны порфировая структура и массивная текстура. Часто встре-

чающиеся на поверхности образцов гидроокислы железа говорят о распространении процессов выветривания. Гипабиссальным породам, встреченным в средней части разреза, свойственны порфировидная структура и такситовая текстура (рис. 4).



Рис. 3. Образец 3. Трахиандезибазальт пиритизированный, глубина 41,00 м



Рис. 4. Образец 18. Монцодиоритовый порфирит, глубина 336,20 м

Большая часть разреза скважины сложена терригенными породами (рис. 5,6). Верхний терригенный горизонт сложен гравийно-галечным конгломератом. Последующие горизонты представляют собой переслаивание средне- и мелкозернистых песчаников, крупнозернистых алевролитов и аргиллитов. В песчаниках и аргиллитах часто встречается примесь алевролитового материала, в алевролитах – пелитового и псаммитового. В терригенных породах участками наблюдаются низкотемпературные гидротермальные изменения, проявляющиеся в различной степени аргиллизации и окварцевания. Редко встречаются признаки легкой хлоритизации.



Рис. 5. Образец 19. Алевролит полимиктовый крупнозернистый пиритизированный, глубина 353,50 м



Рис. 6. Образец 37. Аргиллит гидрослюдистый алевролитистый, глубина 408,80 м

В зависимости от степени аргиллизации глинистый материал частично или полностью замещает исходную породу, либо заполняет трещины в ней (рис. 7).

Окварцевание проявляется в наличии участков, сложенных кварцем, или кварцевых прожилков. Высокая степень окварцевания приводит к образованию на месте исходной породы кварцевых брекчий (рис. 8).



Рис. 7. Образец 8. Аргиллизит по песчанику, глубина 241,50 м



Рис. 8. Образец 6. Брекчия кварцевая гидротермальная, глубина 203,80 м

Для всех горизонтов, вскрытых скважиной №6301К, характерна сульфидная (пиритовая) минерализация. Пирит встречается в виде отдельных мелких (0,1 мм и менее) вкрапленников и их скоплений, а также в виде кристаллов размером до 0,7 мм.

На основании результатов макроскопического изучения пород были выделены основные виды генетических типов, представленные в образцах. Ориентируясь на выделенные генетические типы, для проведения дальнейшего исследования была выделена представительная группа образцов (табл. 1).

Таблица 1. Перечень представительной группы образцов

№ п/п	№ образца	Название породы	Глубина, м
1	1	Трахиандезибазальт (обломок в рыхлых отложениях)	12,30
2	3	Трахиандезибазальт пиритизированный	136,50
3	5	Песчаник полимиктовый мелкозернистый алевритистый пиритизированный	200,30
4	6	Брекчия кварцевая гидротермальная	203,80
5	7	Аргиллит гидрослюдистый с линзами песчаника	214,50
6	8	Аргиллизит по песчанику	241,50
7	12	Аргиллизит алевритистый	289,80
8	14	Песчаник полимиктовый кварцевый мелкозернистый метасоматически измененный пиритизированный	300,60
9	18	Монцодиоритовый порфирит пиритизированный	336,20
10	37	Аргиллит гидрослюдистый алевритистый	408,80

Для более детального изучения минерального состава и структурно-текстурных особенностей из образцов, за исключением образца №6, изготовлены шлифы. Исследования пород в шлифах производилось с помощью поляризационного микроскопа ZEISS Axiolab A1 (Германия). Изучение образцов в шлифах позволило уточнить результаты макроизучения.

Для вулканических пород характерны порфировая интерсертальная структура и массивная текстура (рис. 9,10). Порфировые вкрапленники сложены кри-

сталлами клинопироксенов. Основная масса выполнена микролитами кварца и полевыми шпатами, реже пироксенов.

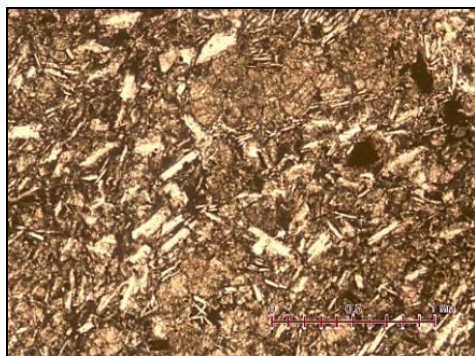


Рис. 9. Образец 3.
Увеличение в 2,5 раза

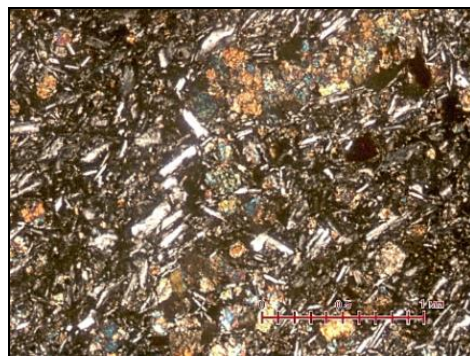


Рис. 10. Образец 3. Увеличение
в 2,5 раза (с анализатором)

Гипабиссальным породам свойственна порфировидная структура и массивная текстура (рис. 11,12). Порфировые вкрапленники сложены полевыми шпатами и плагиоклазами. Основная микрокристаллическая масса аналогично порфировым вкрапленникам представлена плагиоклазами и полевыми шпатами.

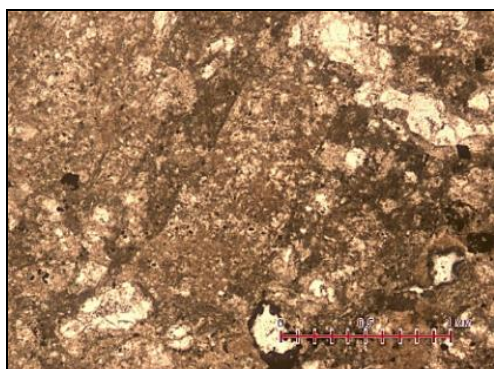


Рис. 11. Образец 18.
Увеличение в 2,5 раза

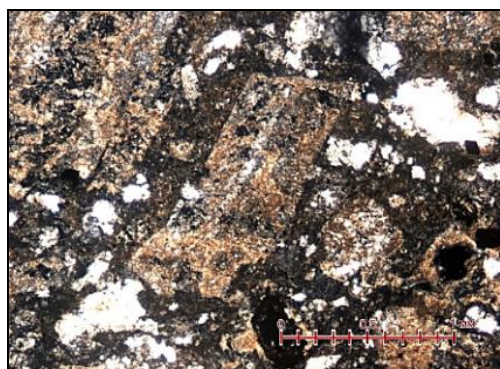


Рис. 12. Образец 18. Увеличение
в 2,5 раза (с анализатором)

Метасоматическое изменение пород (аргиллизация) проявляется в повышенном содержании в составе пород глинисто-гидрослюдистого материала (рис 13, 14). Также наблюдается подверженность зёрен полевого шпата пелитизации и серицитизации.

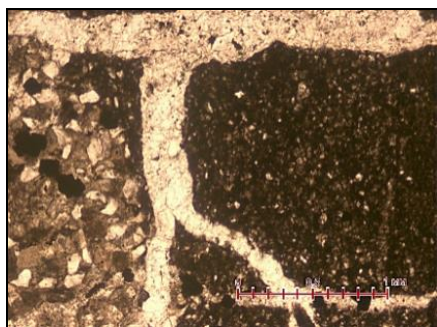


Рис. 13. Образец 7.
Увеличение в 2,5 раза

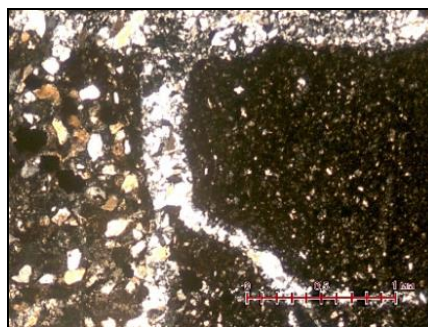


Рис. 14. Образец 7. Увеличение
в 2,5 раза (с анализатором)

Установлено, что кроме вкрапленников в массе породы частично заполняет трещины пирит.

Химический состав пород изучен рентгенофлуоресцентным анализом на рентгенофлуоресцентном анализаторе "Спектроскан МАКС-GV" в лаборатории геохимии КамНИИКИГС. Результаты анализа представлены в таблице 2.

Таблица 2. Результаты рентгенофлуоресцентного анализа, %

№ образца	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	CaO	MgO	TiO ₂	Na ₂ O	K ₂ O	S	P ₂ O ₅
1	52,84	15,70	6,91	0,14	7,62	3,16	0,83	4,49	0,94	0,00	0,15
3	52,70	15,29	7,42	0,15	7,92	3,45	0,87	4,35	0,96	0,00	0,18
5	70,39	11,63	3,51	0,18	0,65	3,11	0,48	3,50	2,28	0,41	0,12
7	68,17	15,43	3,43	0,12	0,39	1,93	0,80	0,83	5,80	0,70	0,18
8	45,59	18,72	11,31	0,46	2,08	2,42	0,88	1,10	6,75	6,84	1,11
12	61,30	20,77	3,00	0,04	0,28	1,54	1,02	0,58	5,55	1,44	0,15
14	69,59	17,41	3,07	0,02	0,36	0,49	0,53	0,54	3,50	2,91	0,19
18	60,10	17,99	4,03	0,25	0,25	2,77	0,46	1,16	6,48	0,24	0,10
37	60,66	19,78	3,99	0,16	0,37	2,63	0,99	0,75	4,97	0,70	0,15

По соотношению суммы щелочей и кремнезёма дано название встреченным в разрезе скважины магматическим породам. Для точного определения названия пород использованы TAS-диаграммы (total alkali-silica diagram) для химической классификации вулканических и плутонических горных пород (Ибламинов и др., 2012; Шарпенюк и др., 2013).

Для более подробного изучения вещественного состава образцов и установления наличия или отсутствия в нём свободного золота, образцы были раздроблены до крупности менее 1 мм, с последующим выделением тяжёлой фракции в тяжелой жидкости и определением её минерального состава с помощью бинокулярного микроскопа.

Просмотр тяжёлой фракции образцов под бинокулярным микроскопом Meiji Techno (Япония) показал, что рудная минерализация представлена монофракцией пирита. Пирит встречается в сростках с кварцем и полевыми шпатами, в виде мелких зёрен и кристаллов кубической формы. Золото в свободной форме в дезинтегрированном материале образцов не обнаружено.

С целью установления наличия или отсутствия золота в виде примеси в монофракции пирита проведён анализ с использованием масс-спектрометра с индуктивно связанной плазмой (ИСП-МС) в Центре коллективного пользования уникального научного оборудования Пермского государственного национального исследовательского университета. Метод применён к образцам №5, 12, 18, 37.

Метод масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой показал наличие в монофракциях пирита всех проб металлов платиновой группы и золота с различным уровнем концентрации (табл. 3).

По величине распространенности в геологических объектах все благородные металлы относятся к самым редким металлам, кларки которых в земной коре составляют $n \cdot 10^{-6}$ – $n \cdot 10^{-8}\%$, и разными авторами оцениваются в (%):

Pt ($1-2 \cdot 10^{-6}$) – Pd ($1 \cdot 10^{-6}$) > Ru ($9 \cdot 10^{-7}$) – Os ($7 \cdot 10^{-7}$) – Rh – ($5 \cdot 10^{-7}$), Ir ($1-5 \cdot 10^{-7}$) – Au ($1-4 \cdot 10^{-7}$) (Юшко-Захарова и др., 1986).

Соответственно, содержание установленных благородных металлов в пирите из протолочек пород различного генезиса в основном ниже или на уровне кларкового. Лишь в пробе №18 представленной пиритизированным монцодиоритовым порфиритом концентрации золота существенно превышают кларковое содержание и составляют 1,410 г/т. Практически во всех пробах выше кларкового имеют содержание Ru и Pd.

Таблица 3. Содержание благородных металлов в монофракциях пирита, г/т

№ образца	Порода	Элемент					
		Ru	Rh	Pd	Ir	Pt	Au
5	Песчаник полимиктовый мелкозернистый алевритистый пиритизированный	0,108	0,003	0,052	0,009	0,015	0,001
12	Аргиллизит алевритистый	0,108	0,005	0,179	0,008	0,022	0,003
18	Монцодиоритовый порфирит пиритизированный	0,114	0,004	0,147	0,008	0,021	1,410
37	Аргиллит гидрослюдистый алевритистый	0,098	0,005	0,024	0,008	0,019	0,003

Изучение вещественного состава пород участка Кумроч показало, что скважиной №6301К вскрыты горизонты, сложенные терригенными (конгломераты, песчаники, алевролиты, аргиллиты), метасоматическими (аргиллизиты, кварцевые беркчии), вулканическими (трахиандеэзобазальты) и гипабиссальными (монцодиотриты) магматическими породами. Метасоматические изменения представлены различной степенью аргиллизации и окварцеванием терригенных пород. Благородная минерализация представлена наличием в монофракциях пирита всех проб металлов платиновой группы и золота. Однако содержание установленных благородных металлов в пирите в основном ниже или на уровне кларкового. Только в пробе №18 содержание золота составляет 1,410 г/т, что существенно превышает кларковое. Также практически во всех пробах наблюдается повышенное по сравнению с кларковым содержание Ru и Pd.

Библиографический список

1. Ибламинов Р.Г., Молоштанова Н.Е., Шехирева А.М. Петрография (магматические, метаморфические, метасоматические и импактные горные породы). Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2012. 240 с.
2. Шарпенюк Л.Н., Костин А. Е., Кухаренко Е.А. TAS-диаграмма сумма щелочей – кремнезем для химической классификации и диагностики плутонических пород // Региональная геология и металлогения, № 56, 2013. С. 40-50.
3. Юшко-Захарова О.Е., Иванов В.В., Соболева Л.Н. и др. Минералы благородных металлов: Справочник. М.: Недра, 1986. 272 с.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕОАКТИВНЫХ ТЕРРИТОРИЙ ДЛЯ ЛЕСОВЫРАЩИВАНИЯ

Изучались благоприятные геоактивные зоны размером 1.0 м, расположенные через 4–14 м. Они соединены попарно и образуют сеть в виде полос, покрывающих 38% площади и перемежающихся нейтральными промежутками в 6–25 м. Территория внутри полос также благоприятна. В лесном питомнике на таких полосах (опыт) и в промежутках между ними (контроль) выселили семена ели. Весна и лето выдалась холодными и дождливыми, и провели единственный полив питомника. В опыте всхожесть семян увеличилась в 7 раз и составила 37.2% против 5.3% в контроле. В естественных заболоченных лесах, также при дефиците тепла, предположительно на таких же полосах, ель формирует цепочки из деревьев, которые ориентированы по магмо-флюидоподводящим разломам.

Ключевые слова: неотектоника, геоактивные зоны, лесные питомники, древостой.

Rogozin M.V.¹, Rybalchenko A.Ya.², Mikhalev V.V.²,

¹ - Perm State University, rog-mikhail@yandex.ru;

² - ANDI LLC, Perm, Russia mihalev_v@mail.ru

USE OF GEO-ACTIVE TERRITORIES FOR FOREST CULTIVATION

We studied favorable geoactive zones of 1.0 m in size, located 4-14 m apart. they are connected in pairs and form a network in the form of bands covering 38% of the area and interspersed with neutral intervals of 6-25 m. the Territory inside the bands is also favorable. In the forest nursery, spruce seeds were sown on such strips (experience) and in the intervals between them (control). The spring and summer turned out to be cold and rainy, and we carried out the only watering of the nursery. In the experiment, seed germination increased 7 times and amounted to 37.2% against 5.3% in the control. In natural swampy forests, that is, also when there is a lack of heat, presumably on the same strips, spruce forms chains of trees that are oriented along magmofluidic faults.

Key words: neotectonics, geo-active zones, forest nurseries, tree stand.

Вопрос использования территорий с геодинамической активностью для выращивания леса в литературе освещен крайне слабо. Имеется лишь несколько работ по данному направлению (Марченко, 1995; Горелов, 2007). В наших работах (Рогозин, 2016; Рогозин и др., 2019) мы показали, что малые геоактивные зоны (МГА-зоны), выделяемые биолокацией, имеют размер в виде кругов диаметром от 1 до 55 м и они напрямую определяют локализацию крупных деревьев, расположение их биогрупп, а также кольцевых образований из некоторых многолетних растений. При их изучении применяют биолокационный метод, подтверждаемый ныне объективными методами, в частности, засвечиванием фотоматериалов гамма-излучением таких зон (Агбалян, 2009). Однако верифицировать этот метод можно и более простым способом по фенотипу деревьев, одновременно проверяя, и обучаясь ему. Индикацию благоприятных зон осу-

ществляют по крупным деревьям, а не благоприятных – по деревьям, отстающим в росте. Гипотеза о подобных зонах высказывалась И. С. Марченко ещё в 1973 г. (Марченко, 1995). Ныне ряд исследователей признают, что известных факторов уже недостаточно для моделирования структуры древостоев (Демаков, 2018; Усольцев и др., 2018).

Благоприятные зоны представляют собой круги диаметром 1.0, 3.0, 4.5, 8.0 м. Эти размеры были определены нами первоначально по реакции на такие зоны деревьев ели (Рогозин, 2016) и размеры эти, по-видимому, отражают скорее не размер, а *мощность излучения* этих зон, которую надо было как-то градуировать. При самостоятельном обучении методу градуировка, скорее всего, будет отличаться от нашей, так как реакция другого оператора на геоактивные зоны, как и реакция деревьев других пород, также будет другой.

Ранее было выяснено, что благоприятные зоны размером 1.0 м размещаются через 4.2–14.6 м (в среднем через 8.7 м), соединены попарно и их сеть представляет собой полосы или цепи, занимающие 38 % территории. Территория внутри полос также благоприятна, и рост 21-летних культур ели в них был достоверно выше на 4.3 %, с увеличением числа деревьев-лидеров в 1.5 раза. Благоприятные полосы перемежаются нейтральными промежутками шириной в среднем 13.4 м с колебаниями от 6 до 25 м (Рогозин, 2016, с. 92).

Цель исследования: выяснить, можно ли использовать благоприятные геоактивные полосы при выращивании посадочного материала в лесных питомниках, а также как они влияют на структуру естественных лесов.

Объекты и методика работ

Для постановки такого опыта семена, посевы и почва в питомнике должны быть достаточно однородными. Для этого мы использовали следующее оборудование и материалы:

1. Маркер для выдавливания четырех посевных бороздок на глубину 1.2 см и длиной 90 см с расстоянием между ними 7.5 см.
2. Сеялку из двух раздвигающихся желобов с расстоянием между ними 7.5 см, длиной 90 см и ячейками через 1.0 см для распределения семян.
3. Промытый и просушенный песок для засыпки посевных бороздок с целью предотвращения образования корки на поверхности почвы после полива.
4. Укрывной материал для защиты всходов от склёвывания птицами.
5. Устройство для изготовления лунок в школе с 15 деревянными треугольными мечами 13.0×4.0×1.3 см, вставленными с шагом 3.3 см в доску и покрытыми эпоксидным клеем; устройство позволяло точно фиксировать корневую шейку сеянцев при посадке.
6. Брус 4×4 см и длиной 100 см для уплотнения почвы после рассаживания сеянцев.

Почвенные горизонты были максимально выравнены, для чего в местах закладки опыта (на благоприятной полосе) и в контроле (в промежутке между полосами), которые располагались рядом, почву на грядке длиной 4.0 м послойно вынимали на ширину 120 см до глубины 35 см (слой 25 см и слой 26–35 см), складировали по бокам, а затем возвращали на место с переборской грунта

в разные места полученной выемки. Ранее эту методику мы использовали при выращивании селекционного посадочного материала, и она подробно иллюстрирована в учебном пособии (Рогозин, 2018, с. 71–78).

Перед высевом семена отсчитывали по 90 шт. и засыпали в пакеты. Семена распределяли в сеялке по ячейкам, сеялку переносили на грядку, раздвигали желоба и семена падали в бороздки. Затем семена вдавливали маркером в дно бороздки и засыпали сухим песком. Опыт включал два блока; второй блок находился у стены леса и после 16 часов был в тени до захода солнца. Всего высевалось 3600 шт. семян в опыте и 1200 шт. в контроле.

Почва в питомнике супесчаная, в первом блоке со средним, во втором – с малым содержанием гумуса. Семена заготовили в сентябре 2016 г. с одного дерева ели финской (*Picea × fennica* (Regel) Kom) в кв. 41 Ильинского лесничества в Пермском крае. Лабораторная всхожесть семян 92 %.

Изучение естественных лесов проводилось в заповеднике «Вишерский» вблизи устья ручья Муравей, в массиве елово-пихтового леса в возрасте 130 лет с полнотой от 0.1 до 0.5. Типы леса – ельник папоротниковый и ельник сфагновый.

Структура лесного насаждения изучалась по космоснимкам с разрешением до 0.5 м. Далее с помощью оригинальной компьютерной программы GSMA-tools, разработанной на основе открытия Ю. И. Фивенского (2002, 2006), проводили космогеологический и геоструктурометрический анализ с применением технологий математической обработки космических снимков для получения информации о глубинном строении территорий. Такая технология применяется для самых разных поисковых исследований (Рыбальченко и др., 2011; Копылов, 2014).

Результаты исследования и их обсуждение

Семена высеяли в питомник 10 мая 2017 г., сразу провели обильный полив и защитили укрывным материалом. Полив оказался единственным за всё время выращивания сеянцев, так как и весна, и лето случились на редкость дождливые и холодные. В период прорастания семян с 11 мая по 10 июня было всего три дня с переменной облачностью и температурой воздуха в дневные часы 20–23 °С. В остальные дни стояла пасмурная или дождливая погода с температурой 12–19 °С.

Грядки в питомнике располагались меридианально, и благоприятная полоса из попарно соединенных зон размером 1.0 м пересекала их почти перпендикулярно (рис. 1).

Грунтовая всхожесть семян в контроле в среднем составила всего лишь 5.3%, в том числе 7.2% в первом и 3.3% во втором блоке. В опыте она была выше и составила в среднем 37.2%. Таким образом, в условиях дефицита тепла в период прорастания семян ярко проявилось стимулирующее действие благоприятной геоактивной полосы, где грунтовая всхожесть семян оказалась выше в 7 раз (рис. 2).

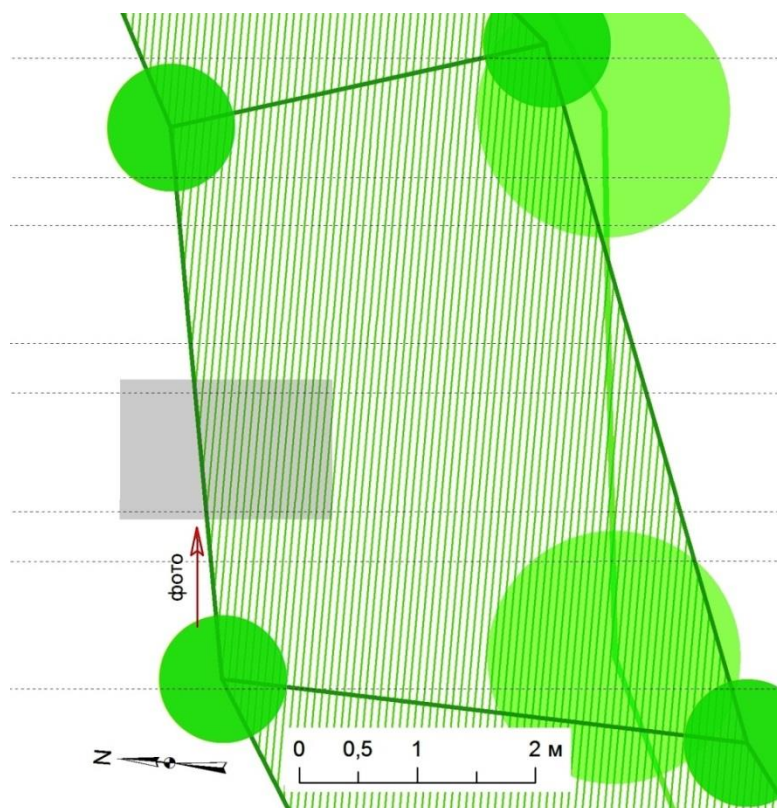


Рис. 1. Часть питомника и сеть из зон размером 1.0 м (темно-зеленые круги и полоса) и сеть из зон 3.0 м (светло-зеленые круги). Затемнена часть грядки, где сделана фотография.



Рис. 2. Слева всходы на нейтральной территории, справа – на благоприятной геоактивной полосе шириной 3.7 м.

Однако и на второй год случилось неприятное событие, связанное с погодой. В период таяния снега ударил заморозок -12°C , и оттаявшая на глубину до 10 см жидкая почва снова замерзла. В результате почти у половины сеянцев корни были буквально оторваны на такую же длину. Явление выжимания сеян-

цев морозом нередко случается в питомниках, и избежать его практически невозможно. Поэтому сеянцы срочно выкопали, рассортировали и для пересадки в школу выбрали растения без повреждений, а также некоторую часть поврежденных сеянцев с достаточным числом мелких корней, всего 750 шт. (56%). Затем их высадили в школу на благоприятную геоактивную полосу.

Описанная методика преследовала, в конечном счёте, одну цель – выровнять факторы, влияющие на рост растений. В результате удалось вырастить однородный по высоте 3-летний посадочный материал (рис. 3).



Рис. 3. Саженьцы ели на третий год выращивания на благоприятной геоактивной полосе.

Средняя высота саженцев составила 17.1 ± 0.17 см, при минимуме 6 см, максимуме 34 см и вариации 26.5%. Частотный ряд высот из 10 классов почти идеально соответствует нормальному распределению (рис. 4).

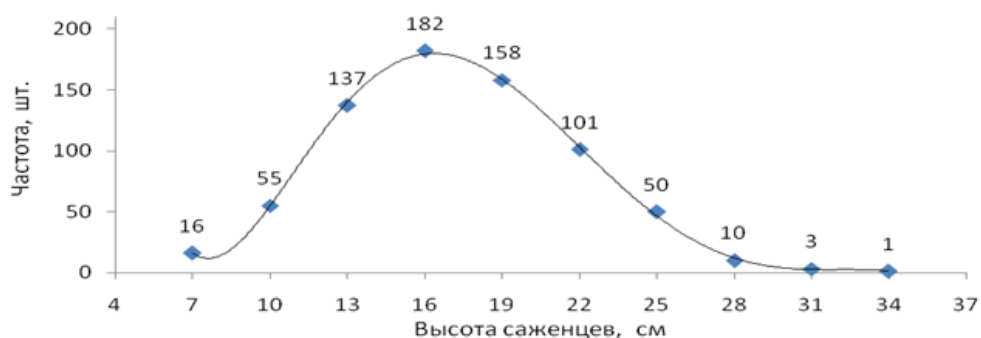


Рис. 4. Распределение высот 3-летних саженцев ели по частоте.

Далее 400 лучших саженцев будут высажены под пологом 187-летнего сосняка 1-го класса бонитета полнотой 0.9 в МГА-зоны пяти типов. Опыт будет сложным – с высадкой саженцев в центры и на периферию зон размером 1, 3, 8 и 16 м, а также в нейтральные места. Из мелких саженцев в питомнике будет заложен опыт по их доращиванию на благоприятных геоактивных полосах.

Обсуждая возможный выигрыш при выращивании деревьев на геоактивных полосах, приведем результаты в опытных культурах ели в кв. 41 Ильинского лесничества в Пермском крае (табл.)

Таблица. Высота деревьев на геоактивных территориях в 21-летних опытных культурах ели (по: Рогозин, 2016, с. 101)

Выборка деревьев	Статистические показатели					В % к контролю	Различие (t)
	<i>N, шт.</i>	<i>X, м</i>	<i>±m, м</i>	<i>±б, м</i>	<i>CV, %</i>		
Нейтральные места (контроль)	759	5,51	0,04	1,21	22	100,0	0,0
Благоприятные полосы из зон 1.0 м шириной в среднем 8.7 м	449	5,75	0,06	1,19	21	104,3	3,4**
в т.ч. центр полосы, 33% площади	148	5,65	0,10	1,26	22	102,6	1,30
в т.ч. края полосы, 67% площади	301	5,79	0,07	1,15	20	105,1	3,6**
Благоприятные зоны размером 3.0 м	184	5,64	0,10	1,30	23	102,4	1,3
Благоприятные зоны размером 8.0 м	185	5,69	0,08	1,12	20	103,3	2,0*
Узкие полосы шириной 15–30 см, соединяющие зоны 3.0 и 8.0 м	35	6,16	0,12	0,72	12	111,7	5,0**
Все благоприятные территории	853	5,73	0,04	1,18	21	104,0	3,8**
Патогенные зоны Хартмана и Курри	51	5,03	0,16	1,18	23	91,2	2,9**

*- различие достоверно в 95% случаев; **- различие достоверно в 99% случаев.

Анализ данных этой таблицы показывает, что на всех благоприятных территориях деревья были в среднем выше контроля на 4.0 %; особенно же выделялась выборка на узких полосах, соединяющих зоны 3.0 и 8.0 м, где высота ели оказалась очень высокой – 111.7%. На геоактивных полосах из зон 1.0 м средняя высота ели в 21 год составила 5.75 ± 0.06 м или 104.3% по отношению к контролю. Различие достоверно на высоком уровне значимости при $t = 3.4 > t_{0.99} = 2.63$.

Однако наиболее важен, на наш взгляд, неотектонический аспект территорий, как проявление глубинных энергий Земли. Ранее мы выяснили, что на территории заповедника «Вишерский» сети из МГА-зон с крупными деревьями на них были сопряжены с линеаментами разрывной тектоники в 80% случаев (Рогозин и др., 2017, 2019).

При последующем анализе космоснимков нам удалось напрямую увидеть влияние неотектоники на структуру древостоев. Она проявила себя в виде цепочек деревьев с расстоянием между ними 4–14 м, наблюдаемых в разреженных древостоях по краям болот (рис. 5).

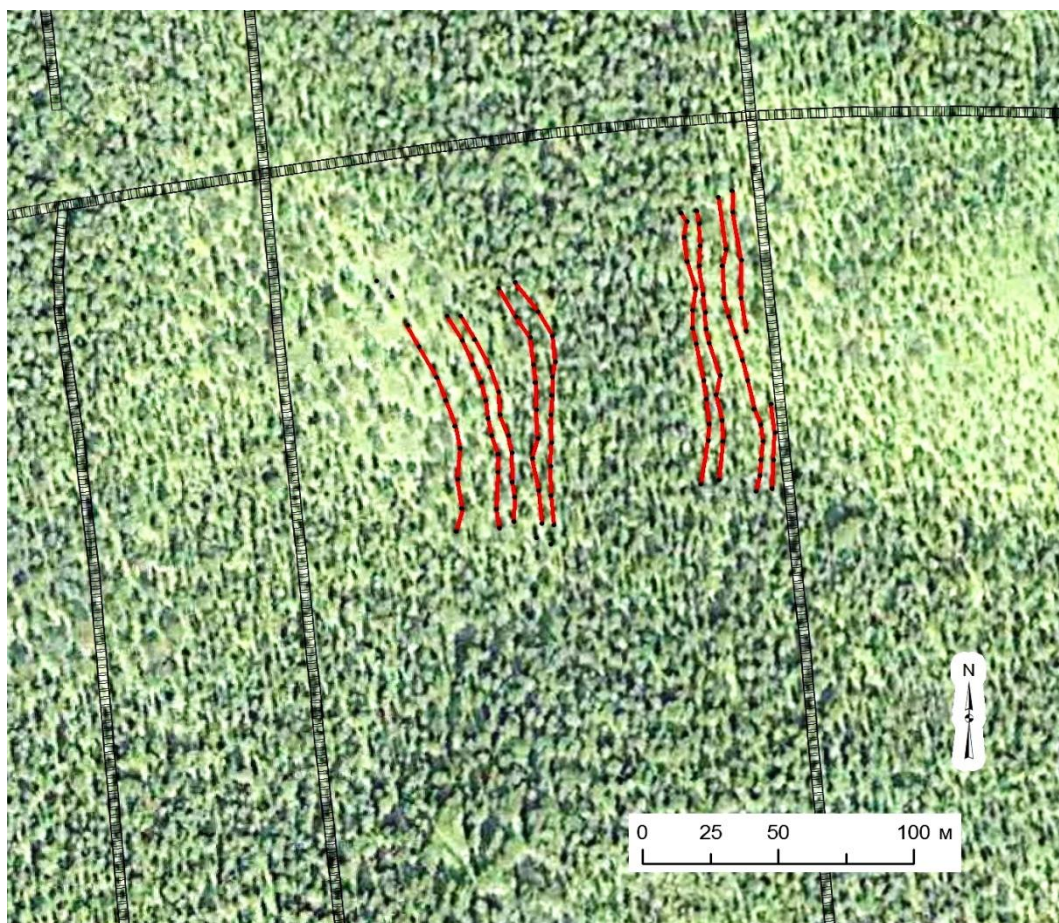


Рис. 5. Структура древостоя ельника сфагнового в виде цепочек из деревьев с расстоянием между ними 4–15 м (красные линии) в 500 м на восток от устья ручья Муравей.

Эти цепочки из деревьев, которые можно провести множество, адекватны структуре сети из зон 1.0 м, где расстояния между зонами колеблются в близких пределах – от 4 до 14 м. Цепочки сопряжены с разломами Лыпинской флюидизатно-эксплозивной структуры (ФЭС), обозначенными на рисунке тёмными линиями. Лыпинская ФЭС оказалась уникальна для проведения разноплановых научных исследований первозданностью своих природных ландшафтов и имеет множество дочерних структур разного масштаба, одна из которых видна как поперечная дуга в верхней части рисунка.

Лыпинская ФЭС имеет размеры 110×250 км и представляет собой спиральный интрузивно-пирокластический мегаштокверк (рис. 6).

Генезис структуры был обусловлен глубинным восходящим тепловым потоком – предположительно мантийным «плюмом», что привело к формированию флюидно-магматической колонны пирокластитов щелочно-ультраосновного состава. Поступательно-вращательное и ударно-пульсирующее продвижение колонны к поверхности сопровождалось образованием систем глубинных спирально-кольцевых разломов центриклинального падения, с шагом заложения от 160–600 м до 1.5-2.5 км, что выражалось в высокоамплитудном (0.5-1.5 км) куполовидном воздымании земной поверхности.

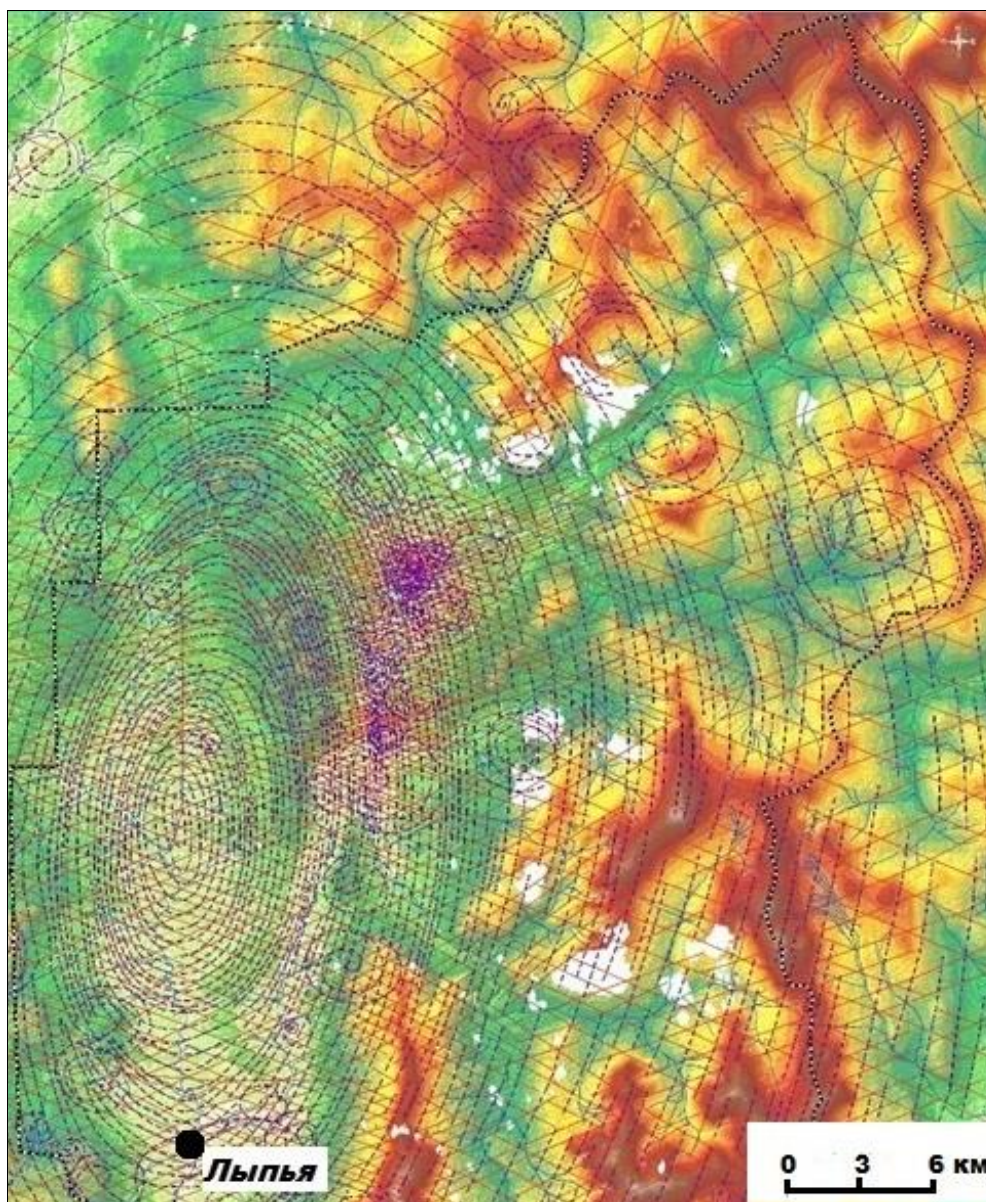


Рис. 6. Фрагмент Лыпинской флюидизатно-эксплозивной структуры.

Парные системы разломов испытывали гармоничные малоамплитудные опускания и воздымания сдвига-сбросового характера. По системам спиральных разломов происходило многофазное внедрение вулканогенного пирокластического и обломочного ксеногенного материала, раскаленных вулканических газов и гидротерм. По возрасту такие структуры – это долгоживущие вулканотектонические объекты, заложенные на ранних этапах тектонического развития региона, их максимальная активизация отмечается в неоген-четвертичный период.

Сравнивая три описанных случая как экспериментальные факты (питомник; культуры ели; естественное редкостойное насаждение) можно отметить, что первый и третий случай наблюдались при дефиците тепла и избытке влаги. Несмотря на громадные различия между объектами (сеянцы и деревья), они показали в целом одинаковую реакцию – на благоприятных геоактивных полосах повышалась всхожесть семян и деревья поселялись (как мы предполагаем на основе предыдущих исследований) преимущественно на зонах размером 1.0 м и

3.0 м, что предстоит проверить в будущем полевом сезоне. В обоих случаях и всходы, и деревья весьма эффективно использовали энергию Земли для повышения виталитета в неблагоприятных условиях.

При улучшении условий деревья начинают занимать уже и свободные от геоактивных зон и полос промежутки и древостой уплотняется, что хорошо опознается на космоснимке более темным фототонном (см. рис. 5), где цепочки деревьев не так очевидны, так как тени деревьев накладываются друг на друга.

Заключение

Таким образом, в условиях дефицита тепла и заболачивания территорий геологическая среда и энергия Земли опосредовано повышают всхожесть лесных семян, а также поселение деревьев на малых геоактивных зонах и их сетях благоприятного типа, определяя в целом структуру лесных насаждений. Возможно, что кроме воздействия энергии Земли на МГА-зонах, одной из главных причин улучшения роста растений является также эксгаляции газов и геохимических компонентов по системам флюидоподводящих спиральных разломов мантийного заложения, определяющих в том числе и размещение малых геоактивных зон и их сетей.

Библиографический список

1. *Агбалян Ю.Г.* Глобальная энергетическая сеть Хартмана. Мифы и реальность // Сознание и физическая реальность. 2009. № 12. С. 14-20.
2. *Горелов А.М.* Теория фитогенного поля: становление, современное состояние, перспективы развития // Интродукция растений. 2011. № 3. С. 10–18.)
3. *Копылов И.С.* Геоэкологическая роль геодинамических активных зон // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2014. № 7. С. 67-71.
4. *Марченко И.С.* Биополе лесных экосистем. Брянск: БГИТА, 1995. 188 с.
5. *Демаков Ю.П.* Структура и закономерности развития лесов республики Марий Эл. Йошкар-Ола: ПГТУ. 2018. 432 с.
6. *Рогозин М.В.* Лесные экосистемы и геобиологические сети. Пермь: ПГНИУ. 2016. 171 с.
7. *Рогозин М. В.* Лесная селекция: учебное пособие для студентов высших учебных заведений. М.: Изд. дом Академия Естествознания, 2018. 298 с.
8. *Рогозин М.В., Михалев В.В., Рыбальченко А.Я., Копылов И.С.* Оценка влияния неотектоники на лесные экосистемы и на ориентацию сетей из малых геоактивных зон// Геология и полезные ископаемые Западного Урала. Пермь: ПГНИУ. 2019. Вып. 2(39). С. 23–31. <http://geology.psu.ru/nauchnye-konferentsii-granty-konkursy-stazhirovki/>
9. *Рогозин М.В., Копылов И.С., Красильников П.А.* Биологический аспект геодинамических активных зон // Геология и полезные ископаемые Западного Урала. Пермь: ПГНИУ. 2017. № 17. С. 223–227.
10. *Усольцев В.А., Часовских В.П., Акчурина Г.А., Осмирко А.А., Кох Е.В.* Фитомасса деревьев в конкурентных условиях: исследование системных связей средствами информационных технологий.. Екатеринбург: УГЛТУ, 2018. 526 с.
11. *Фивенский Ю.И.* Малые кольцевые структуры рыхлых отложений земной коры /Научное открытие. Диплом ОТП РАН № 02-д/02 от 22.10. 2002.
12. *Фивенский Ю.И.* Использование материалов аэрокосмических съёмок для изучения земной коры // Геодезия и картография. 2006. №1. С. 44-52.
13. *Рыбальченко А.Я., Рыбальченко Т.М., Силаев В.И.* Теоретические основы прогнозирования и поисков коренных месторождений алмазов туффизитового типа//Известия Коми научного центра УрО РАН. 2011. № 1 (5). С. 54-66.

ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ ПРОГРАММНЫХ ПРОДУКТОВ, ИСПОЛЪЗУЕМЫХ В ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОЛОГИИ

В ходе своей профессиональной деятельности инженер-геологам необходимо осуществлять различные расчеты, обрабатывать данные лабораторных исследований, строить разрезы, карты, давать прогнозные оценки и многое другое. Для этого используются различные вспомогательные средства. К сожалению, в настоящее время, нет уникального программного продукта, который бы смог справиться со всеми поставленными перед инженер- геологами задачами, поэтому специалистам приходится осваивать большое количество программ предназначенных для решения частных задач. В статье дается обзор современных программных продуктов используемых для решения различных инженерно-геологических задач.

Ключевые слова: инженерная геология, программные продукты, Software (софт).

P.A. Krasilnikov
Perm State University, chisp07@gmail.co

REVIEW OF MODERN SOFTWARE PRODUCTS USED IN ENGINEERING GEOLOGY

In the course of his professional activity, a engineering geology needs to carry out various calculations, analysis laboratory research data, build cross-sections, maps, give predictive estimates and much more. For this, various auxiliary tools are used. Unfortunately, at present there is no unique software product that could cope with all the tasks assigned to engineering and geological problems, so a large number of programs are designed to solve particular problems. The article provides an overview of modern software products for solving various engineering and geological problems.

Key words: engineering geology, software products, software (software).

В ходе своей профессиональной деятельности инженер-геологам необходимо осуществлять различные расчеты, обрабатывать данные лабораторных исследований, строить разрезы, карты, давать прогнозные оценки и многое другое. Для этого используется различные вспомогательные средства. К сожалению, в настоящее время, нет уникального программного продукта, который бы смог справиться со всеми поставленными перед инженер- геологами задачами, поэтому специалистам приходится осваивать большое количество программ предназначенных для решения частных задач. В работе (Хронусов, Барский, Красильников, 2018; *Khronusov, Barskiy, Krasilnikov, 2018*) авторы предлагают в качестве такого программного продукта использовать решение собственной разработки, созданное на основе Microsoft SQL –server.

В настоящее время любое специализированное программное обеспечение, чтобы быть востребованным, направлено на решение ряда производственных задач. Для инженерной геологии можно выделить следующие:

- хранение и ввод информации о геологических выработках (скважинах, шурфах) и образцах грунта;
- определение расчетных физико-механических и механических свойств грунтов по данным лабораторных исследований с последующей классификацией грунтов согласно нормативным документам. Для решения этих задач зачастую используются собственные решения предприятия, разработанные на основе общераспространенных программных продуктов, например в текстовых редакторах или электронных таблицах, таких как *Microsoft Excel*. Этим обусловлен ряд особенностей по вводу данных и постоянной актуализации применяемых формул;
- расчет и выделение инженерно-геологических элементов на основе вероятностно-статистических методов, прописанных в нормативных документах, которые, как правило, производятся также на основе собственных разработанных утилит, обычно реализованных в электронных таблицах *Excel*. Эта задача отнимает наибольшее количество времени при работе с серьезным массивом исходных полевых и лабораторных данных;
- подготовка и создание иллюстрирующего материала по геологическому строению территории изыскания (геологические колонки, карта фактов, инженерно-геологические разрезы и тематические карты инженерно-геологических условий). Оформление и подготовка такого графического материала, требуемого для написания технического отчета по результатам инженерно-геологических изысканий, в среднестатистической организации занимает более 50% трудозатрат специалистов. Здесь можно выделить такие программные комплексы, как *Credo Topoplan*, *Autocad*, *Mapinfo*, *Q-ГИС*, *Arcgis* и др.;
- создание отчетных документов математической обработки свойств грунтов и расчет их нормативных значений. Фактически это подготовка информации для проектировщиков;
- обработка данных полевых испытаний грунтов – статического зондирования, динамического зондирования, штамповых испытаний, прессиометрических испытаний. Для обработки этих данных чаще всего используется программное обеспечение, идущее в комплекте с инструментальной базой;
- написание и оформление текстовой части технического отчета (пояснительной записки), включая всевозможные приложения. Обычно структура пояснительной записки достаточно жестко определена и мало меняется от раза к разу, что позволяет инженеру-геологу со временем создать набор шаблонов пояснительных записок (так называемых «рыб», или «скелетов») под наиболее распространенные составы и объемы инженерно-геологических изысканий. Такие шаблоны готовятся в различных текстовых редакторах. Наиболее популярным является *Microsoft Word*.

Таким образом, специалистам приходится использовать различное программное обеспечение на всех этапах работы – от получения первичной инженерно-геологической информации до выдачи отчета.

Всю совокупность используемого в инженерно-геологических целях программного обеспечения можно разделить на 5 групп (табл.) – картографические системы, системы автоматического проектирования (САПР), расчетные систе-

мы (расчет устойчивости склонов, интерпретация опытно-фильтрационных работ и т. д.), системы прогнозного моделирования (*Modflow*, *Ground water modelling system*) и редакционно-издательские системы для подготовки и вывода на печать отчетной документации по проведенным инженерно-геологическим исследованиям. Как отмечалось выше, большинство программных продуктов ориентированы на большую часть производственного цикла с использованием различных модулей.

Изучение этого вопроса позволило выделить наиболее популярные специализированные программные продукты, используемые инженерами-геологами, а именно «Откос», *Credo Dialogue*, *AutoCad*, *EngGeo*, *GeoDraw Geotech*, *GeoStab*, *GeoniCS GEODirect*.

Таблица. Программные средства в инженерной геологии

Назначение программ	Инженерно-геологические задачи	Названия программ
Картографические системы	Обработка первичной графической – геодезической, инженерно-геологической, гидрогеологической – информации в плане. Планирование точек опробования и полевых исследований. Установление пространственных закономерностей. Подготовка картографического материала	ArcGIS, QGIS, ГИС-панорама, Credo Dialogue, TopoCad, AutoCad, Geocad, Mapinfo, Топоматик Robur, FoxGis, GeoDin, GeoniCS, EngGeo и др.
Системы автоматического проектирования	Построение инженерно-геологических колонок, разрезов. Подготовка чертежей и схем для проектировщиков	AutoCAD, Credo Dialogue, Geocad, SurfCad и др.
Расчетные системы различного назначения (инженерно-геологические, геомеханические, гидрогеологические, гидрогеологические и др.)	Обработка результатов полевых инженерно-геологических исследований. Определение расчетных физико-механических и механических свойств грунтов. Выделение инженерно-геологических элементов. Расчет устойчивости откосов, склонов и пр.	Credo Dialogue, GEOSimple, Geotech Геолог, GeoniCS GeoDirect, Statistica, Microsoft Exsel, Aquefer Test, Ansdimat, CadGeo, GeoStab, ANSYS, Откос и др.
Системы прогнозного моделирования	Геологическое моделирование – определение закономерностей распределения значимых компонентов в недрах. Гидрогеологическое моделирование. Геомеханическое моделирование	Visual Modflow, Ground water modelling system, GeoStab, Откос и др.
Настольные издательские системы	Подготовка отчетной документации для вывода на печать или передача заказчику в виде электронных отчетов	Microsoft office, OpenOffice, LibreOffice и др.

Базовый функционал всех названных выше программ включает в себя:

- ведение базы данных исходных выработок (скважин) и образцов грунта (монолитов и проб), базы данных проектов (объектов);
- определение расчетных физико-механических и химических свойств грунтов по данным грунтовой лаборатории, автоматическая классификация грунтов по свойствам, создание паспортов образцов грунта;

- выделение инженерно-геологических элементов (по заданным параметрам, автоматически, в ручном режиме);
- создание ведомостей статистической обработки характеристик грунтов и определение их нормативных значений;
- формирование геологических колонок, схем расположения выработок, инженерно-геологических карт и разрезов;
- импорт данных полевых испытаний грунтов (статическое зондирование, динамическое зондирование, штамповые испытания, прессиометрические испытания) в состав проекта;
- импорт данных (из *Excel*, простых текстовых файлов) по выработкам, образцам грунта, грунтовой лаборатории в состав проекта;
- экспорт данных (в *Excel*, *Word*, *PDF*, *AutoCAD*) для окончательного составления технического отчета силами инженера-геолога.

Credo Dialogue. Комплекс программных продуктов «КРЕДО» разрабатывается и распространяется компанией «Кредо-Диалог» начиная с 1989 г. Пользователи *CREDO* работают в проектно-изыскательских, геофизических и геолого-разведочных экспедициях, нефтяных и газовых компаниях, строительных организациях, земельных комитетах, управлениях архитектуры и градостроительства, аэрогеодезических предприятиях, участках водных путей и администрациях портов и во многих других ведомствах.

В начале своего развития комплекс программных продуктов *CREDO* являлся системой проектирования нового строительства и реконструкции автомобильных дорог («САПР КРЕДО»). В настоящее время это многофункциональный комплекс, который обеспечивает подготовку материалов для различных геоинформационных систем, создание и инженерную эксплуатацию цифровых моделей местности, автоматизированную обработку сведений в геодезических, землеустроительных работах, инженерных изысканиях, автоматизированное проектирование транспортных объектов, генеральных планов объектов промышленного и гражданского строительства.

Сегодня комплекс *CREDO* объединяет в технологическую линию несколько крупных систем и ряд дополнительных задач. Каждая из систем пакета позволяет создать единое информационное пространство, которое описывает как изначальное состояние территории (модели рельефа, ситуации, геологического строения), так и последующие проектные решения создаваемого объекта, который формируется при помощи автоматизированной обработки данных в различных областях (инженерно-геодезические, инженерно-геологические изыскания, проектирование и др.).

Основными функциями комплекса *CREDO* являются:

- камеральные работы при сооружении местных и государственных сетей геодезической опоры;
- камеральная обработка инженерно-геодезических изысканий;
- обработка геодезических данных при выполнении геофизических разведочных работ;
- сбор материалов для формирования цифровой модели участка инженерного назначения;

- формирование и корректировка цифровой модели участка инженерного назначения на основе существующих картматериалов и данных изысканий;
- создание чертежей топопланов и планшетов на базе созданной цифровой модели местности, вывод материалов по цифровой модели местности в геоинформационные системы и системы автоматизированного проектирования;
- создание и корректировка цифровой модели геологического строения площадки или полосы изысканий;
- обработка лабораторных данных инженерно-геологических изысканий;
- создание чертежей инженерно-геологических колонок и разрезов на базе цифровой модели геологического строения территории, экспорт геологического строения разрезов в системы автоматизированного проектирования;
- проектирование генеральных планов объектов гражданского, транспортного и промышленного строительства;
- маркшейдерская поддержка процесса добычи полезных ископаемых;
- подсчет объемов земляных работ;
- проектирование профилей внешних инженерных коммуникаций;
- проектирование нового строительства и переустройства автомобильных дорог;
- проектирование транспортных развязок;
- решение задач проектирования железных дорог;
- ведение дежурных планов промышленных объектов и территорий;
- геодезическое обеспечение строительных работ;
- геодезические работы в землеустройстве;
- подготовка сметной документации при проведении инженерно-геологических и инженерно-геодезических изысканий.

Система автоматизированного проектирования (САПР) служит для решения самых разных вопросов – как изыскательских, так и проектирования объекта с выходными данными в виде таблиц и чертежей. Пакет состоит из нескольких блоков, которые позволяют обрабатывать и проектировать в самых разных сферах строительства.

У программного комплекса много преимуществ. Собственные методы, алгоритмы и математические модели позволяют повысить эффективность проектных решений технико-экономического, геометрического разделов проекта. Комплексный подход позволяет организовать непрерывную связь между технологической линией изысканий и многовариантным проектированием. При этом комплекс прост в освоении и последующей эксплуатации.

Цифровые модели территории, которые являются результатом инженерно-геодезических изысканий, и цифровые модели проекта, как результат проектирования, применяются в продуктах *CREDO* для визуальной оценки проекта. Подобную внешнюю оценку проекта можно провести как в статическом, так и динамическом режимах. В программном комплексе существует большой выбор средств моделирования проектируемых объектов, топографических ситуаций и поверхностей любой геометрической сложности.

При создании цифровой модели местности, наряду с обычной инструментальной съемкой, используются материалы, которые получены с GPS/GNSS-

приемников, электронных тахеометров, топографических банков данных. На данный момент это самые современные методы сбора и обработки топографической информации. Именно поэтому базовая модель объекта *CREDO* отличается повышенной информационной содержательностью. Все задействованные данные – и исходные, и проектные – распределяются по слоям. Таким образом, расширяются возможности использования разной по характеру (происхождение, назначение, время создания и т. д.), но, по сути, однородной информации для моделирования объектов.

Процесс работы над объектом с использованием комплекса *CREDO* происходит в электронном виде. Это выгодно для многих организаций, так как позволяет экономить бумагу.

К тому же комплекс постоянно развивается и расширяет пакет функций. Все эти достоинства делают возможным не только широкое применение *CREDO*, но и привлечение новых пользователей, несмотря на существование других программ САПР (*AutoCad Civil 3D* и др.).

AutoCAD – двух- и трехмерная система автоматизированного проектирования и черчения, разработанная компанией *Autodesk* и выпущенная впервые в 1982 г. Сама программа, а также специализированные приложения на основе *AutoCAD* стали широко применяться не только в инженерной геологии, но и других областях.

Начальные версии *AutoCAD* использовали ограниченное количество элементарных объектов – кругов, дуг, линий и др., служивших основами для более сложных фигур. В этом качестве *AutoCAD* заработал репутацию «электронного кульмана», которая сохраняется за ним и по сей день. В настоящее время возможности *AutoCAD* весьма широки и давно вышли за рамки простого электронного чертежного прибора.

У программы большой потенциал работы со слоями и аннотативными объектами (текст, размеры, допуски и др.). В *AutoCAD* по-прежнему доступны минимальные графические объекты, использующиеся в двумерном проектировании для создания более сложных объектов. Автоматизация 2D-проектирования доступна обычным пользователям и не требует навыков программирования, что стало возможным благодаря применению динамических блоков. Также в *AutoCAD* начиная с 2010 версии представлена поддержка двумерного параметрического черчения. Применение системы внешних ссылок (XRef) дает возможность осуществлять работу над чертежом разным разработчикам в отдельных файлах, за которые отвечают сами разработчики. Возможность динамической связи чертежа с фактическими картографическими материалами существует в программе с 2014 г. (*GeoLocation API*).

В последних версиях программы *AutoCAD* представлено все необходимое для комплексного трехмерного моделирования, в том числе осуществляется поддержка твердотельного, поверхностного и полигонального моделирования. С помощью системы рендеринга *mental ray* *AutoCAD*-модели визуализируются в высоком качестве. Результаты моделирования можно отправить на 3D-принтер. Также в программе реализована поддержка облаков точек – эта функция обеспечивает работу с результатами 3D-сканирования.

AutoCAD широко распространен во всем мире в первую очередь благодаря тому, что расширенные средства разработки и адаптации дают возможность приспособить систему под конкретные нужды пользователей, что в значительной степени увеличивает функциональность исходной системы. Базовая версия *AutoCAD* является многофункциональной основой для разработки приложений, чему способствует внушительный комплект инструментальных средств. Целая масса специализированных прикладных приложений – *AutoCAD Mechanical*, *AutoCAD Architecture*, *AutoCAD Electrical*, *AutoPLANT*, *GeoniCS*, *MechaniCS*, *Promis-e*, *PLANT-4D*, *GEOBRIDGE*, СПДС *GraphiCS*, САПР ЛЭП, *Rubius Electric Suite* и др. – разработана на базе *AutoCAD* не только самой компанией *Autodesk*, но и другими производителями.

EngGeo Программный комплекс разработан для хранения и обработки материалов, полученных из инженерно-геологических изысканий. В составе комплекса – база данных, а также набор модулей для обработки сведений, которые вводит пользователь.

В «EngGeo» материалы изысканий организованы в виде объектов работ. Каждый объект может состоять из нескольких участков, в каждом из которых содержится информация о выработках, полевых и лабораторных испытаниях грунтов, пробах воды.

ПК «EngGeo» позволяет считывать данные испытаний, проведенных на приборах АСИС фирмы «Геотек». Также можно считывать данные статического зондирования, выполненного установками «ПИКА», «Геотест» и «Fugro».

Графические модули «EngGeo» работают в среде *AutoCAD*, *MicroStation* и *nanoCAD* по выбору пользователя.

При построении геологических разрезов может учитываться геодезический профиль, созданный в программах *AutoCAD Civil*, *Credo* или *ProfileCH*. Возможно также введение этих данных вручную.

В стандартной библиотеке уже имеются базовые условные обозначения (штриховки) для грунтов и включений, которые созданы в соответствии с действующим ГОСТом. Также есть возможность при необходимости самостоятельно дополнить каталог грунтов и создать оригинальные штриховки.

На сегодняшний день программный комплекс «EngGeo» – это один из наиболее удобных инструментов для задач инженерной геологии.

Возможности комплекса «EngGeo»:

- все виды лабораторных испытаний грунтов и вод;
- полевые испытания грунтов;
- статистическая обработка результатов испытаний;
- выходные ведомости и таблицы в форматах *Word* и *Excel*;
- использование сетевой или локальной базы данных объектов работ;
- построение колонок скважин и разрезов в графической среде *AutoCAD*, *nanoCAD* или *MicroStation*.

В процессе работы в программном комплексе «EngGeo» у пользователя накапливается база данных, что позволяет при повторной работе на площадке использовать имеющиеся данные по интересующим выработкам совместно с новыми данными изысканий. Например, если есть ранее введенные материалы

по объекту, площадка которого примыкает или даже пересекается с текущим объектом, есть возможность совместной обработки архивных и новых выработок, что позволяет более точно и полно определять свойства грунтов.

Программа может работать как в сетевом режиме, предоставляя одновременный доступ к БД нескольким пользователям, так и использоваться на локальном компьютере, не входящем в сеть. Путь к БД указывается во время установки программы. Кроме того, есть возможность создания нескольких баз данных для различных регионов работ.

Для удобства работы в «EngGeo» для пользователей предусмотрена возможность находить объекты работ, выработки или пробы грунта по названию или номеру, устанавливать фильтр, ограничивая список объектов по выбранному критерию.

Все отчеты и ведомости, которые генерирует программа, имеют формат *Microsoft Word* и могут редактироваться и сохраняться на любом носителе, как и все файлы этого формата.

Программа имеет большое количество возможностей по настройке режимов работы и заданию начальных значений. Например, в разделах по химическому анализу пользователь может установить стандартные для своей лаборатории нормальности титрующих растворов и объемы жидкостей для анализа, определяемые объемами используемого лабораторного оборудования.

Программный продукт «GeoStab» применяется для определения устойчивости склонов, котлованов или откосов в сложной неравномерной геологии. Программа дает возможность не только рассчитывать коэффициент запаса стабильности, но и вычислять оползневое давление.

Преимущества и особенности программы *GeoStab*: простота использования, интуитивный интерфейс, импорт из DXF-файла; 7 методов определения коэффициента устойчивости; учет подпорных стен, анкеров, нагелей и геосинтетики; наличие методов определения оползневого давления; генерация развернутого отчета; возможность оптимизационного поиска наиболее опасных призм сдвига.

Встроенный CAD-редактор позволяет разработать геометрическую модель с возможностью импорта готовой геометрии из DXF-файла либо довольно быстро определить распределение пластов по отсканированному геологическому разрезу. Также в программу встроен справочник физико-механических свойств грунтов, который основан на СП 22.13330.2011, что обеспечивает создание соответствующего отчета в формате MS Word. [<https://www.geoset.pro/geostab>]

Программа «Откос» разработана для того, чтобы вычислить коэффициент устойчивости откосов и склонов разнообразной конфигурации. За механизм потери устойчивости берется механизм скольжения оползающего массива касательно статичной зоны откоса. Расчет сопротивления сдвигу по поверхности скольжения производится для состояния неподвижности. По всей поверхности наблюдается критерий деформации грунта, определяемый в виде закона Кулона. Минимальный из коэффициентов запаса устойчивости по любым вероятным поверхностям скольжения, удовлетворяющий заданным ограничениям, заложенным в методе расчета – это коэффициент запаса устойчивости склона

(откоса). Результат сравнения реального сдвигающего напряжения, получаемого расчетом, и предельного сопротивления сдвигу выражается в виде коэффициента запаса устойчивости K . Итоговый расчет может быть экспортирован в формат RTF [<https://scadsoft.com/products/otkos/>].

GeoDraw/GeoGraph – отечественная разработка ГИС, имеющая функциональное различие между программными компонентами. *GeoDraw* – векторный топологический редактор, *GeoGraph* – средство композиционного построения уже существующих цифровых карт.

Векторный редактор *GeoDraw*, относящийся к классу *Desktop GIS*, применяется для построения картографических баз данных для технологий ГИС. Картографическая структура, которую поддерживает редактор, включает многослойное представление данных. Также программа реализует идентификацию объектов и их привязку к базам атрибутивных данных, осуществляет работу с 40 картографическими проекциями и конвертирует форматы данных в широком диапазоне. На основе *GeoGraph* можно построить электронные тематические атласы, в основе которых оверлейное представление цифровых карт и взаимосвязанные с ними атрибутивные цифровые данные.

В программном комплексе предусмотрена возможность ввода картографической информации средствами оцифровывания. Система *GeoDraw* преобразует растровые изображения в векторную графику и модифицирует карты для встраивания пространственных данных из разнообразных источников, например, преобразования всех отечественных картографических проекций, плоскости, распознавание объектов и согласование их с таблицами атрибутивных данных широко распространенных форматов *DXF*, *dBase*, *Paradox* и др.

Система позволяет проводить анализ информации. С помощью этой функции можно реализовать тематическое картографирование, осуществить разнообразные запросы к картам и связанным с ними таблицам, логические запросы и быстрый оверлей слоев, пространственные измерения, взаимодействие с приложениями, экспорт составленных композиций карт, графиков, текстов, растровых изображений на другие устройства.

Система *GeoDraw* производит обмен данными с другими популярными системами, например *AutoCAD*, *ArcInfo*, *MapInfo* и др. Эти программы могут решать взаимодополняющие категории задач, применяясь в едином технологическом комплексе с программными ресурсами *GeoDraw* [Система *GeoDraw/GeoGraph*].

ArcGIS – это замкнутая система, которая обеспечивает сбор, организацию, управление, анализ, обмен и распределение географических данных. *ArcGIS*, как мировой лидер среди платформ для разработки и применения геоинформационных систем (ГИС), используется людьми по всему миру для применения географических знаний в практической сфере государственного управления, науки, бизнеса, образования и СМИ. Географическая информация, опубликованная на платформе *ArcGIS*, может быть доступна и использована любыми пользователями в любой точке, где возможно использование веб-браузеров, настольных компьютеров, а также смартфонов.

ArcGIS позволяет объединять информацию разного происхождения в один связанный географический вид. К таким источникам информации относится материал географических баз данных, табличные показатели из систем управления базами данных (СУБД) и других систем предприятия, файлов, фотографий и видео с географическими метками, электронных таблиц, данных реального времени с датчиков, аэрокосмических и спутниковых изображений, KML, CAD данных и т. д. На карте может быть установлена любая запись с географической ссылкой – названием города, улицы, GPS-координатами, идентификатором земельного участка и т. д., которая будет доступной для использования данных. Таким образом, в карты могут быть встроены проверенные географические материалы фирмы *ESRI*, которые предоставляют поставщики данных и тысячи агентств и организаций ГИС по всему миру.

Библиографический список

1. *Введение в ArcGIS*. Электронный ресурс. Точка доступа <http://resources.arcgis.com/ru/help/getting-started/articles/026n00000014000000.htm>. (Дата обращения 05.04.2020)
2. *Система GeoDraw/GeoGraph*. Электронный ресурс. Точка доступа https://life-prog.ru/2_86123_sistema-GeoDrawGeoGraph.html. (Дата обращения 15.04.2020)
3. *Анализ устойчивости откосов и склонов*. Электронный ресурс. Точка доступа <https://scadsoft.com/products/otkos> (Дата обращения 10.04.2020)
4. *GeoStab* - программа для расчета устойчивости откосов и склонов. Электронный ресурс. Точка доступа <https://www.geoset.pro/geostab>. (Дата обращения 11.04.2020)
5. *Хронусов В.В., Барский М.Г., Красильников П.А.* Программный продукт для ведения базы данных инженерно-геологической информации урбанизированных территорий // Геология и полезные ископаемые Западного Урала. 2018. № 18. С. 261-266.
6. *Khronusov V.V., Barskiy M.G., Krasilnikov P.A.* Engineering geology software database for urban areas. // В сборнике: 18th International Multidisciplinary Scientific GeoConferences SGEM 2018 Conference proceedings. 2018. С. 163-170.

ОЛИВИН ИЗ КИМБЕРЛИТА ПОД ЭЛЕКТРОННЫМ МИКРОСКОПОМ

Рассмотрены особенности химического состава зерен оливина из кимберлитов трубки «Новинка-2» (Якутия) с применением методов электронной микроскопии. Использован аншлиф породы, в котором на примере нескольких десятков зерен сделаны микрозондовые анализы для оценки степени выдержанности минерального состава. Для одного из них выполнены микрозондовые анализы по траверсу, пересекающему зерно. Наконец, изучен химический состав новообразований, появляющихся в результате изменения зерен оливина под влиянием наложенных процессов. Всего выполнено 22 микрозондовых анализа. Сделаны выводы о сравнительном постоянстве соотношения минералов (форстерита и фаялита) в зернах оливина, о зональном их строении с наличием форстеритового внешнего слоя и о сложном минеральном составе измененного оливина (кальцит, перовскит, магнетит, железистый оливин).

Ключевые слова: оливин, кимберлит, электронная микроскопия, микрозондовый анализ.

B.M. Osovetsky
Perm State University, opal@psu.ru

OLIVIN FROM KIMBERLITE UNDER ELECTRONIC MICROSCOPE

Chemical composition of olivine from Yakutian kimberlite is studied with application of electron microscopy methods (22 microprobe analyses are executed). Three varieties of olivine are distinguished: primary, weakly changed, and completely substituted. The first variety has got very high forsterite percentage (94–96%). The small rim with high Fe percentage is typical for the second one. The third variety is presented by aggregates of magnetite, carbonates, Fe-olivine, etc. There are carbonaceous compounds in its composition, too.

Key words: olivine, kimberlite, electron microscopy, microprobe analysis.

При изучении минерального состава кимберлитов оливину уделяется особое внимание ввиду его широкой распространенности в разных типах кимберлитов и наличии ряда типоморфных признаков, указывающих на особенности его образования, роль внешних воздействий и степень алмазоносности кимберлита. Так, в крупных зернах оливина часто присутствуют включения мелких алмазов и наоборот (Хмельков, 2008).

Обычно в кимберлитах различаются оливины двух генераций, которые имеют разные источники происхождения, размеры и другие особенности. К первой генерации относят более крупные зерна (обычно более 0,5 мм), источниками которых считаются ксенолиты гарцбургит-дунитового состава, лерцолитов, верлитов (Соболев и др., 2010) или более ранние фазы кимберлитового расплава. Вторая генерация представлена более мелкими зернами, которые образуются непосредственно из кимберлитового расплава и часто имеют отчетливо выраженную кристаллографическую огранку.

Оливин в кимберлитах обычно подвергается интенсивному воздействию постмагматических процессов, полностью замещается серпентином или превращается в агрегаты сложного (магнетит-карбонат-серпентинового) минерального состава.

По химическому составу кимберлитовые оливины отличаются резким преобладанием форстеритового минала (84–95%). Характерными примесями являются никель, кальций, хром и титан. Типичными критериями алмазности кимберлитов являются пониженное содержание железа и присутствие хрома. Повышенное содержание кальция считается признаком малой глубины кимберлитообразования. При этом экспериментально доказана возможность образования округлых вкрапленников оливина при взаимодействии карбонатизированного расплава с перидотитом (Грязнов и др., 2019). Высокие концентрации никеля отмечены в оливинах хорошей сохранности из слабо измененных кимберлитов.

В данной статье представлены результаты изучения химического состава оливинов из кимберлитов трубки Новинка-2. Эта трубка расположена в пределах Верхнемунского кимберлитового поля. В ней присутствуют два текстурно-структурных типа кимберлитов: порфировые кимберлиты и кимберлитовые брекчии, соответствующие двум фазам внедрения (Гаранин, 1989). Особенностью кимберлитов данного поля является повышенное количество неизмененных оливинов (Яковлев и др., 2009).

Из образца кимберлита первого типа, предоставленного автору геологом А.Кочетковым, в шлифовальной мастерской кафедры минералогии и петрографии ПГНИУ был изготовлен аншлиф (оператор И.А.Гарипов). Электронномикроскопические исследования выполнены автором статьи с использованием аппаратуры Центра коллективного пользования ПГНИУ. Напыление углеродом выполнено С.В.Мусакуловой. Аншлиф изучен под сканирующим электронным микроскопом JSM 6390LV (Jeol). Микрозондовый анализ (энергодисперсионный спектрометр INCA 350 Energy, фирма Oxford Instruments) проводился при следующем режиме работы микроскопа: рабочее расстояние 12 мм, рабочее напряжение 20 кВ, сила тока 10 А. Микрофотографирование проведено в режиме обратно-рассеянных электронов. Всего сделано несколько десятков качественных и 22 количественных микрозондовых анализов.

Сканирование поверхности аншлифа с применением качественного микрозондового анализа позволило установить присутствие, помимо преобладающего оливина, следующих породообразующих и акцессорных минералов: магнетита, перовскита, хромшпинелида, пикроильменита, кальцита и апатита.

Оливины первой генерации в аншлифе обычно представлены округлыми и веретенообразными зернами размером до 1 мм и более, второй генерации – более мелкими зернами и кристаллами разной формы (рис. 1–3). Среди оливинов с учетом степени их сохранности выделены три типа: 1) неизмененные, 2) с оторочкой продуктов изменения и 3) полностью замещенные.

Неизмененные зерна в основном принадлежат второй генерации и имеют относительно небольшие размеры (часто менее 0,2 мм). Нередко они присутствуют в качестве включений в перовските и сохраняют кристаллографическую огранку (рис. 1). В аншлифе отчетливо выявляется отсутствие вокруг них ото-

рочки продуктов изменения.

В представительной группе неизмененных относительно крупных зерен оливина размером более 0,3 мм в центральной их части был определен химический состав (табл. 1). Наряду с существенно преобладающими оксидами кремния, магния и железа, наиболее заметными примесями являются никель и кальций. Постоянное заметное присутствие кальция (до 1% CaO) указывает на слабую степень изменения зерен под влиянием наложенных процессов и относительно небольшую глубину кимберлитообразования (Костровицкий, 1986). Низкая хромистость свидетельствует о слабой алмазности объекта. Примерно в половине зерен в небольшом количестве обнаружены хром и титан. Соотношение миналов в оливинах достаточно постоянное: доля форстеритового минала составляет 93,5–95,5%.

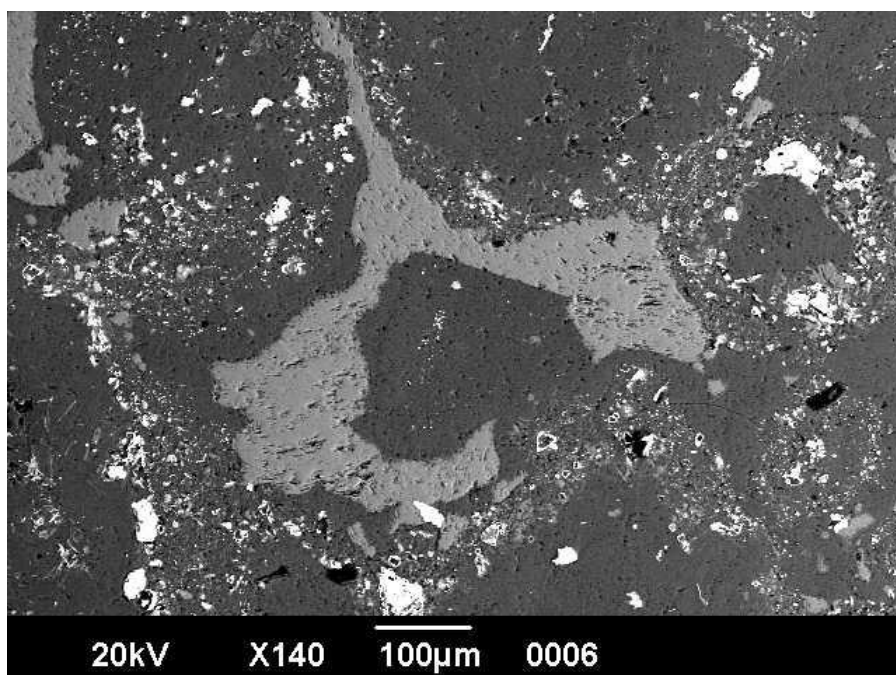


Рис. 1. Неизмененный кристалл оливина (черный в центре) в перовските (светло-серый)

Таблица 1. Химический состав зерен неизмененного оливина, мас. %

Оксид	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
SiO ₂	50,05	50,47	49,84	49,90	49,93	50,68	50,16	50,70	50,57	50,42
TiO ₂	0,10	-	-	0,09	-	0,09	0,08	0,08	-	0,02
Cr ₂ O ₃	0,09	0,08	-	-	-	-	-	0,09	0,15	0,04
FeO	3,98	3,37	3,50	3,82	3,58	3,22	3,47	4,35	3,30	3,26
MgO	43,77	44,22	44,54	45,19	45,06	45,27	44,08	43,32	44,11	44,15
MnO	0,10	-	-	-	-	-	-	-	-	0,01
NiO	0,20	0,38	0,35	0,11	0,24	0,13	0,39	0,47	0,40	0,42
CaO	0,95	0,97	0,94	0,48	0,50	0,40	1,00	0,53	0,93	0,99
Сумма	99,24	99,49	99,17	99,59	99,31	99,79	99,18	99,54	99,46	99,31
Fo*	93,7	94,2	94,0	94,9	94,9	95,5	94,0	93,5	94,2	94,3

* Форстеритовый минал

Слабо измененные зерна характерны для оливинов первой генерации. Признаком слабого преобразования зерен является присутствие оторочки продуктов изменения, которая отчетливо наблюдается на снимках благодаря вещественному контрасту. Ширина оторочки зависит от размеров зерна и может достигать 0,2 мм. В составе оторочки наблюдается присутствие, кроме серпентина, оливина с повышенной долей фаялитового минала, мелких кристалликов магнетита и сплошных выделений кальцита (рис. 2, 3).

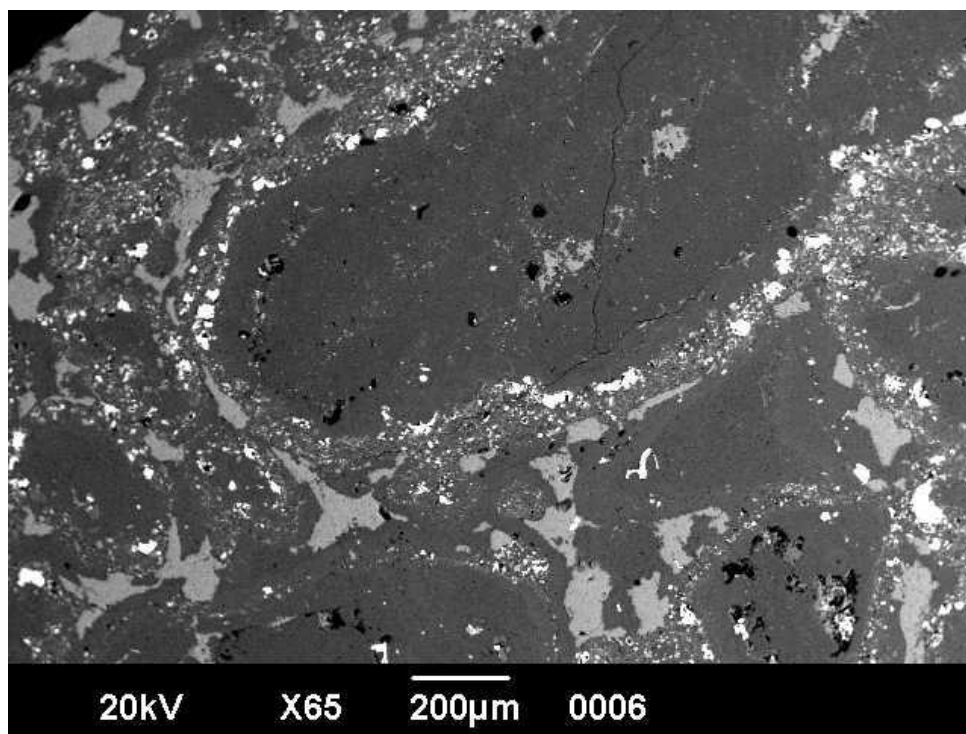


Рис. 2. Зерно оливина (черное) с оторочкой (белые – мелкие зерна магнетита, светло-серые – перовскит)

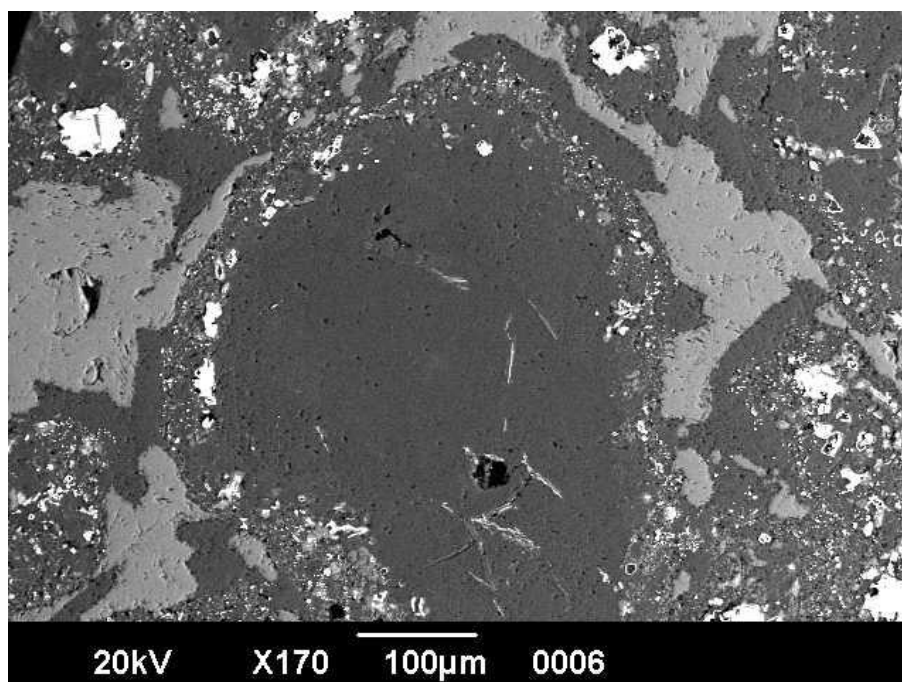


Рис. 3. Зерно оливина с оторочкой в зоне, обогащенной перовскитом

В одном из типичных слабо измененных зерен округлой формы определен химический состав в разных точках по траверсу, пересекающему внутреннюю зону минерала, казалось бы не затронутую процессами преобразования (рис. 4, табл. 2). Результаты показали, что данная зона имеет внешнюю кайму (50–100 мкм), которая выделяется по заметному увеличению содержания оксидов железа и присутствию титана, в то время как содержания оксидов никеля и кальция снижаются. Соответственно доля форстеритового минерала несколько снижается во внешней кайме (95,2%), в то время как в остальной части зерна она остается практически неизменной (95,6–96,0%). Наличие аналогичной каймы и других признаков зональности оливинов отмечалось многими исследователями (Костровицкий, 1986; Соболев и др., 2010). Среди элементов-примесей в центральной зоне зерна появляются хром, цинк, медь.

Таблица 2. Химический состав зерна оливина в точках траверса, мас. %

Оксид	1	2	3	4	5	6	7	8
SiO ₂	50,14	50,75	50,44	50,43	50,23	50,53	50,74	50,07
TiO ₂	0,09	-	-	-	-	-	-	0,10
Cr ₂ O ₃	-	-	0,08	0,09	-	-	0,15	-
FeO	3,55	3,10	3,18	3,17	3,14	3,18	2,96	3,80
MgO	44,60	44,32	43,58	43,71	44,08	44,11	44,15	44,62
MnO	-	-	-	-	0,08	-	-	-
NiO	0,33	0,53	0,36	0,53	0,47	0,42	0,37	0,31
CoO	0,10	-	0,10	-	-	-	-	-
CaO	0,75	1,01	1,38	1,16	1,05	1,04	0,96	0,55
ZnO	-	-	0,14	-	-	-	-	-
CuO	-	-	-	-	0,17	-	-	-
Сумма	99,56	99,71	99,26	99,09	99,22	99,28	99,33	99,45
Fo*	94,2	94,2	93,3	93,9	94,0	94,4	94,6	94,4

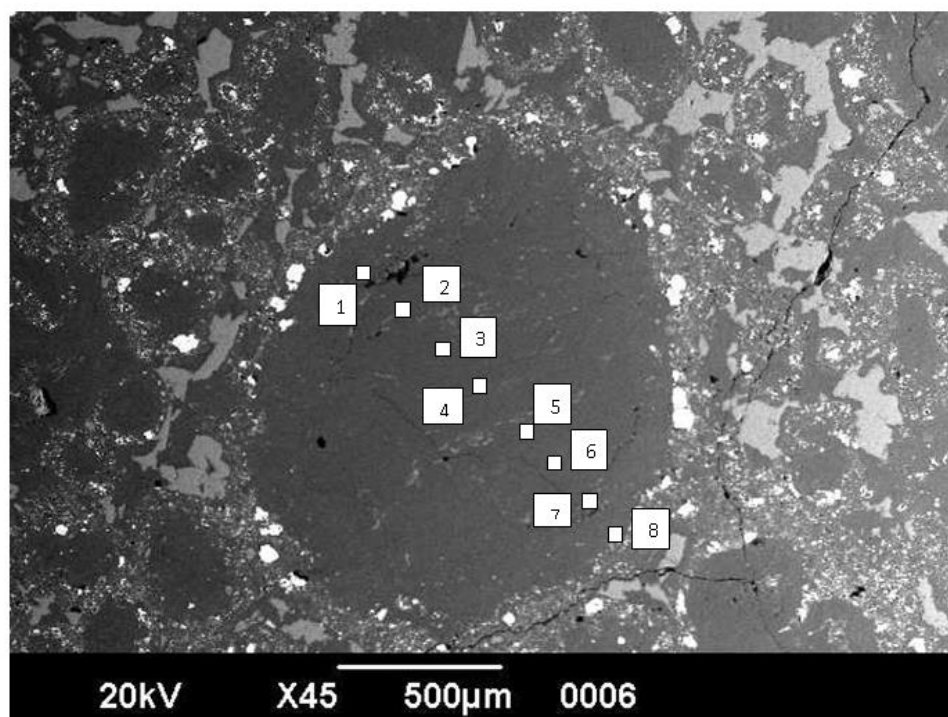


Рис. 4. Траверс поперек слабо измененного зерна оливина

Измененные зерна оливина представляют собой разные стадии перехода от слабо измененных индивидов в агрегаты весьма сложного минерального состава. Обычно они имеют внешнюю оторочку магнетит-карбонат-серпентинового минерального состава (толщиной до 50 мкм и более) и внутреннюю часть агрегатного строения (рис. 5). В составе агрегатной части изученного нами зерна (рис. 6) основными компонентами являются магнетит и две фазы оливина с повышенным содержанием железа (табл. 3). В одной из этих фаз содержание FeO примерно в полтора раза выше, чем в неизмененном зерне, в другой – в два с лишним раза.

Процесс изменения оливина, судя по данным микрозондового анализа, сопровождается также резким повышением содержания алюминия. Судя по всему, алюминий замещает кремний, поскольку сумма оксидов кремнезема и глинозема остается практически постоянной (45,21–47,48%).

Наиболее интересными для изучения являются участки черного цвета, в составе вещества которых существенно преобладает углерод. С учетом ярко выраженного вещественного контраста и данных микрозондового анализа, нельзя предположить присутствие здесь карбонатов (содержание CaO составляет всего 0,47%, FeO – 2,22%). Вероятной формой нахождения углерода является углеродистое вещество. Присутствие полициклических ароматических углеводородов в оливинах из кимберлитов Якутии было отмечено В.К.Гараниным (1989). Представляется вполне вероятным нахождение в оливине и других минералах кимберлитов графитизированного вещества, в т.ч. микроалмазов.

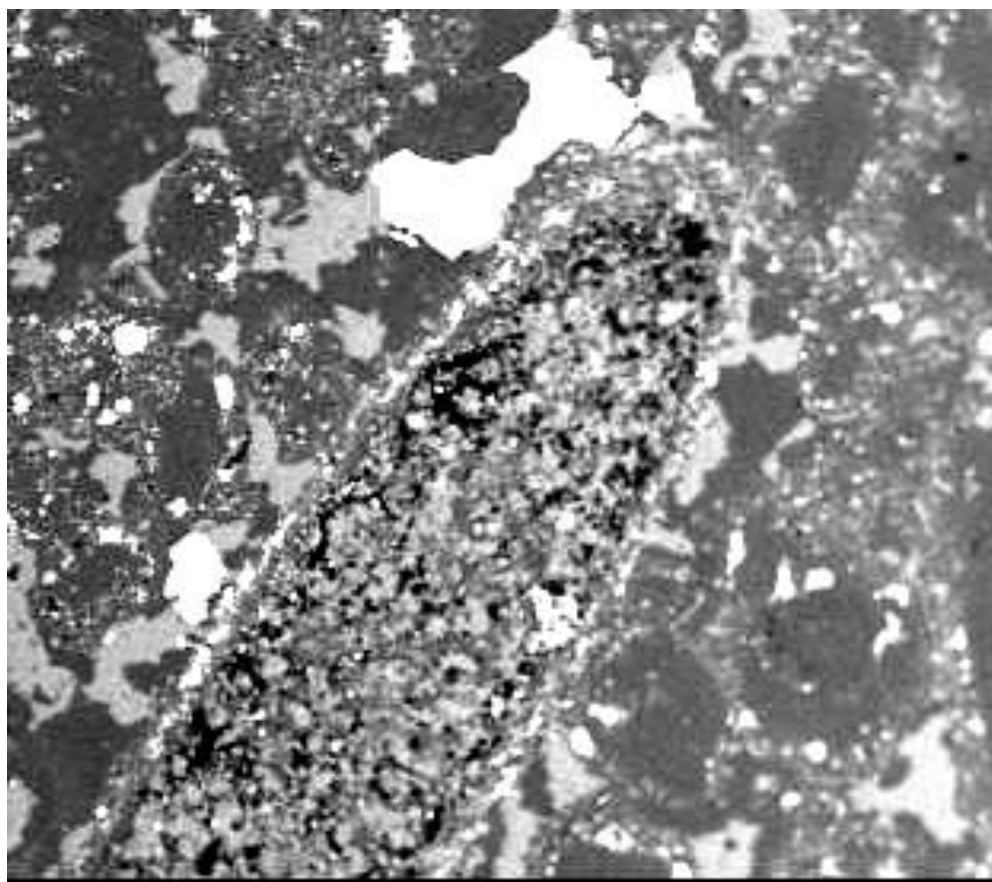


Рис. 5. Фрагмент полностью замещенного оливина в магнетит-карбонат-серпентиновой оторочке (белые – магнетит, светло-серые – перовскит)

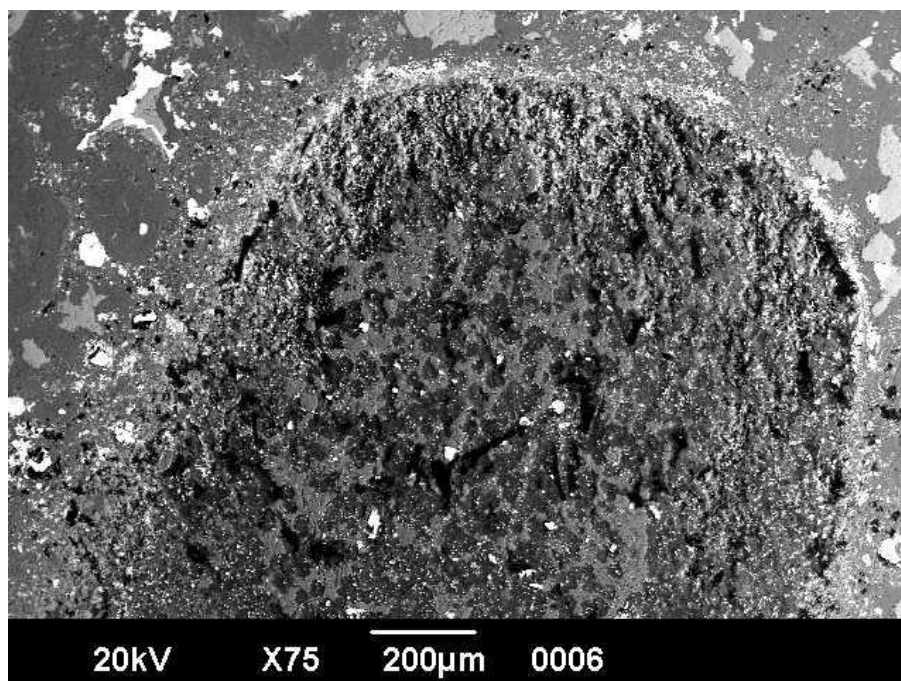


Рис. 6. Сильно измененное зерно оливина

Таблица 3. Химический состав участков измененного оливина, мас. %

Оксид	Ярко-белые	Светло-серые	Темно-серые
SO ₃	-	0,52	0,37
V ₂ O ₅	-	0,10	-
SiO ₂	0,86	44,99	29,76
TiO ₂	0,36	0,10	0,28
Al ₂ O ₃	0,83	2,49	15,45
Cr ₂ O ₃	-	-	0,10
FeO*	94,58	7,83	5,17
MgO	2,54	42,06	46,19
MnO	0,13	0,08	-
NiO	-	0,42	0,92
CaO	0,21	0,77	1,18
Сумма	99,51	99,36	99,42

Библиографический список

1. Гаранин В.К. Введение в минералогия алмазных месторождений. М.: Изд-во МГУ, 1989. 200 с.
2. Грязнов И.А., Карпович З.А., Ишутин И.А., Жимулов Е.И. Растворение макрокристов оливина в кимберли-литовом расплаве при высоких Р-Т параметрах // Известия Иркут. ун-та. Сер. «Науки о Земле». 2019. Т. 28. С. 34–47.
3. Костровицкий С.И. Геохимические особенности минералов кимберлитов. Новосибирск: Наука, 1986. 263 с.
4. Соболев Н.В., Соболев А.В., Томиленко А.А. и др. Оливин из кимберлитов и алмазов: проблема происхождения // Тез. докл. XI Всерос. петрогр. сов. 2010. Т. II. С. 254–255 с.
5. Хмельков А.М. Основные минералы кимберлитов и их эволюция в процессе ореолообразования. Новосибирск: АРТА, 2008. 252 с.
6. Яковлев Д.А., Костровицкий С.И., Алымова Н.В. Особенности вещественного состава кимберлитов Верхнемунского поля (Якутия) // Известия Сибирского отд. Секция наук о Земле РАЕН. 2009. № 1 (34). С. 111–119.

МИНЕРАЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СРЕДНЕГО ТЕЧЕНИЯ Р. СЮЗЬ ЧИКМАН-НЯРСКОЙ ДЕПРЕССИИ (СРЕДНИЙ УРАЛ)

На основании количественного минералогического анализа шлиховых проб выделены два минералогических района в среднем течении р. Сюзь в Чикман-Нярской депрессии.
Ключевые слова: Средний Урал, р. Сюзь, шлиховое опробование, гранулометрия, минералогия.

K.P. Kalinin, Y.G. Paktovsky
Perm State University, kirill1998@mail.ru; urijpaktovskij65@gmail.com

MINERALOGICAL CHARACTERISTIC OF THE MIDDLE FLOW RIVER SUZ CHIKMAN-NYARSKAYA DEPRESSION (MIDDLE URAL)

Based on quantitative mineralogical analysis of schlich samples, two mineralogical regions were identified in the middle reaches of the Suz river in the Chikman-Nyarskaya depression.
Key words: Middle Ural, river Suz, bulk testing, granulometry, mineralogy.

В среднем течении р. Сюзь в пределах Чикман-Нярской эрозионно-карстовой депрессии нами отобрано 5 шлиховых проб. В тектоническом отношении район располагается в Западно-Уральской зоне складчатости (Соболев, 1969), образованной на границе пассивной окраины Восточно-Европейской платформы после герцинской коллизии (Ибламинов, 2015). Пробы взяты из косовых отложений: 1, 2, 5 – р. Сюзь; проба 3 – руч. Полуденный (левый приток р. Сюзь); 4 – безымянный правый приток р. Сюзь с устьем, расположенным на два километра выше по течению р. Сюзь от места впадения руч. Полуденный.

Для рассева шлиховых проб использовался стандартный набор сит с размером ячеек: 1,0; 0,5; 0,25; 0,1. В результате ситового анализа выделяются следующие классы (в мм): >1,0; 1,0-0,5; 0,5-0,25; 0,25-0,1; <0,1 (табл. 1).

Таблица 1. Гранулометрический состав песчано-алевритового материала шлиховых проб, %

№ пробы	Масса шлиха, г	Классы, мм					Итого, масс. %
		>1,0	1,0-0,5	0,5-0,25	0,25-0,1	<0,1	
1	28,30	0,64	0,35	42,80	55,71	0,50	100
2	38,74	0,36	7,70	62,85	28,26	0,83	100
3	44,01	2,87	1,05	37,83	57,86	0,39	100
4	33,51	0,44	0,51	35,88	62,72	0,45	100
5	25,83	0,08	0,15	29,84	69,46	0,47	100

В исследуемых пробах, кроме шлиха 2, преобладает класс 0,25-0,1 мм.

Лабораторное изучение проб проводилось по типовой схеме обработки проб для петрографического и количественного минералогического анализов (Осовецкий, 2009).

Для изучения минеральной ассоциации шлихов гранулометрический класс

0,25-0,1 мм, как наиболее представительный в этом отношении, разделен в бромформе (CHBr₃). Тяжелая фракция (ТФ) взвешена на лабораторных весах WAS 220/C/2 с точностью до четвертого знака (табл. 2). По величине выхода ТФ пробы можно разделить на две группы: 1) проба 3 с наибольшим выходом ТФ (руч. Полуденный); и все остальные пробы с весьма низким выходом ТФ. При проведении минералогического анализа выяснилось, что повышенный выход ТФ пробы 3 связан с близостью размываемых даек основных пород, состоящих из железо-магнезиальных минералов группы пироксенов.

Таблица 2. Выход тяжелой фракции (ТФ) класса 0,25-0,1 мм проб 1-5, %

Номер пробы	Масса класса, г	Масса ТФ, г	Выход ТФ, %
1	55,71	0,1307	0,23
2	28,26	0,0826	0,29
3	57,86	0,6135	1,06
4	62,72	0,1398	0,22
5	69,46	0,0528	0,08

Анализ легкой фракции проводится при помощи стереомикроскопа Meiji Techno EMT 2 в классе 0,5-0,25 мм. Результаты минералогического анализа легкой фракции представлены в таблице 3.

Таблица 3. Минеральный состав легкой фракции шлиховых проб, %

Минерал/разность	Номер пробы				
	1	2	3	4	5
Кварц полупрозрачный	84	91	92	95	95
Кварц ожелезненный	9	4	3	3	4
Гидрогетит	1	2	2	-	1
Горный хрусталь	6	3	3	2	-
Итого, %	100	100	100	100	100

Из таблицы 3 видно, что в минеральном составе легкой фракции преобладают силикатные компоненты: кварц и его разности. Минеральный состав легкой фракции характеризуется достаточно однообразным набором минералов.

Для минералогической характеристики шлихов под биноклем просмотрены все выделенные классы без разделения в бромформе. В пробах 4 и 5 в классе 1,0-0,5 мм отмечены крупные окатанные зёрна лейкоксена, полупрозрачного зеленого турмалина и граната-альмандина с бугорчатой поверхностью. Необходимо отметить, что пробы 4 и 5 пространственно сближены и имеют один источник поступления материала, как нам представляется, из така-тинской свиты нижнего девона. Для количественного минералогического анализа взята узкоразмерная фракция с представительным количеством зерен минералов (мелкопесчаный класс 0,25-0,1 мм, 500 зёрен). Результаты минералогического анализа приведены в таблице 4. Минералогический анализ проведен по аллотигенной части шлиховых проб. Проба 3, выделенная нами в первую группу шлихов с наибольшим выходом ТФ, характеризуется ярко выраженной авгитовой минеральной ассоциацией (Лунев, Осовецкий, 1996). По этому показателю к ней примыкают пробы 1 и 2. С другой стороны, пробы 4 и 5 совершенно

лишены авгитового компонента в составе тяжелой фракции шлиха. Они характеризуются цирконовой минеральной ассоциацией, обычной для западного склона Урала при шлиховом опробовании (Пактовский, 2019).

Таблица 4. Минеральный состав тяжелой фракции шлиховых проб (класс 0,25-0,1 мм), %

Минерал	Номер пробы				
	1	2	3	4	5
Аллотигенные					
Циркон	26,56	21,43	1,20	62,99	45,83
Хромшпинелид	1,36	-	-	2,24	0,43
Рутил	1,08	1,23	0,30	1,22	-
Ильменит	0,27	4,43	0,90	0,61	28,05
Пироксен-авгит	56,64	50,74	76,82	-	-
Турмалин	10,84	15,27	1,20	15,65	9,42
Гранат	0,54	0,25	-	0,81	-
Лейкоксен	2,71	6,65	18,98	9,96	14,56
Эпидот	-	-	0,60	-	0,43
Магнетит	-	-	-	2,24	-
Анатаз	-	-	-	2,24	1,07
Монацит	-	-	-	0,61	-
Пироксен	-	-	-	1,02	0,21
Фосфаты	-	-	-	0,41	-
Итого, %	100	100	100	100	100
Аутигенные					
Гематит	15,75	22,99	65,87	3	88,89
Гидрогетит	84,25	77,01	34,13	-	7,41
Пирит	-	-	-	-	3,70
Итого, %	100	100	100	100	100

Таким образом, на основании минералогического анализа шлиховых проб можно выделить два локальных минералогических района: 1) первый – связанный, в основном, с влиянием даек магматических пород основного состава на формирование минеральной ассоциации изучаемой части Чикман-Нярской депрессии; и 2) второй – связанный с преобладающим влиянием среднепалеозойских терригенных толщ (такатинская свита эмского яруса нижнего девона).

Библиографический список:

1. Ибламинов Р.Г. Минерагения (основы минерагеодинамики). Пермь: Перм. гос. нац. исслед. ун-т, 2015. 322 с.
2. Лунев Б.С., Осовецкий Б.М. Мелкие алмазы Урала. Пермь: Изд-во Перм. ун-та, 1996. 128 с.
3. Осовецкий Б.М. Шлиховой метод. Пермь: Перм. гос. нац. исслед. ун-т, 2009. 162 с.
4. Пактовский Ю.Г. Стадийность геологического развития территории Южного Прикамья в позднем протерозое // Вестник Пермского университета. Геология. 2019. Т.18, № 2. С.108–124.
5. Соболев И.Д. Краткий очерк тектонического развития // Геология СССР. Т. XII. Пермская, Свердловская, Челябинская и Курганская области. Ч. 1. Геологическое описание. Кн. 2. М.: Недра, 1969. С. 220–240.

А. Ю. Пузик, А.В. Чумаков, К.П. Казымов, М.А. Волкова
ПГНИУ, chumakov.aleksandr.1997@mail.ru

СУЛЬФИДЫ ЗАПАДНОГО РУДНОГО ТЕЛА ГЛАВНОГО САРАНОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Представлены результаты изучения сульфидных минералов в рудах и силикатных горных породах Главного Сарановского месторождения. Пробы отобраны из горизонта +100 метров Сарановской шахты «Рудная». Полностью опробован северный орт, с шагом опробования 0,5 метра, всего получилось 103 образца пород и руд.

Ключевые слова: Главное Сарановское месторождение, элементы платиновой группы, сульфиды.

A.Yu. Puzik, A.V. Chumakov, K. P. Kazimov, M. A. Volkova
Perm State University, chumakov.aleksandr.1997@mail.ru

SULFIDES OF WESTERN ORE BODY OF THE GLAVNOE SARANOVSKOYE DEPOSIT

The results of studying sulfide minerals in ores and silicate rocks of the Glavnoe Saranovskoe deposit are presented. Samples were taken from the +100 meters horizon of the Saranovskaya Rudnaya mine. The northern ort was fully tested, with a sampling step of 0.5 meters, a total of 103 samples of rocks and ores were obtained.

Keywords: Sulfides, platinum group elements, Glavnoe Saranovskoe deposit.

Сарановское месторождение хромитов – уникальное месторождение не только для Урала, но и для всего мира. Оно является природным феноменом в разнообразии найденных здесь минералов. В промышленном отношении, данное месторождение, расположенное в Горнозаводском районе Пермского края и сосредоточенно в пределах докембрийской расслоенной гипербазитовой интрузии. Месторождение является основным источником хрома в России. Гипербазитовые горные породы, которыми сложено месторождение, серпентинизированы. Главное Сарановское месторождение приурочено к Кваркушско-Каменногорскому мегантиклинорию Центрально-Уральского поднятия, формирование горных пород которого происходило в рифтогенной обстановке позднего рифея и раннего венда (Ибламинов, 2002; Ибламинов, Суслов, 2015).

Главное Сарановское месторождение хромита, представляет собой три промышленных пласта, которые называются Западное (ЗРТ), Центральное (ЦРТ) и Восточное (ВРТ) рудные тела, а также несколько десятков непромышленных пластов. На горизонте +100 метров шахты «Рудная» вкрест простирания через каждые 50 сантиметров были отобраны пробы горных пород. Пробы отбирались через силикатные горные породы и рудные тела по северному орту в северо-восточном направлении от маркшейдерской точки 889 (рис.1).



Рис.1. План горизонта +100 м Сарановской шахты «Рудная»

Отобранные пробы, были доставлены в лабораторию Сектора наноминералогии ПГНИУ. Первый этап - макроскопическое описание, фотографирование и выбор зон, из которых были изготовлены полированные аншлифы (рис. 2).



Рис.2. Фотография отобранного образца из ЗРТ

Описание аншлифов проводилось при помощи поляризационного микроскопа NIKON EKLIPTIS 100 POL из руд ЗРТ, ЦРТ и ВРТ и силикатных пород в 10-кратном и 40-кратном увеличении. Для дальнейших исследований были выбраны пробы с сульфидной минерализацией (рис. 3).

Наш интерес к сульфидным минералам Сарановского месторождения обусловлен его генетическим сходством с уникальным Бушвельдским месторождением хромита и платины.

Большой вклад в изучение платиновой минерализации на Сарановском месторождении внесли минералого-геохимические исследования Ю.А. Волченко с соавторами (Волченко, 2011). Ими установлено наличие во всех рудных телах минералов платиновых металлов (МПМ) рядов лаурит RuS_2 – эрликманит OsS_2 в виде идиоморфных зерен размером 5-50 мкм, а также брэггит $(\text{Pt}, \text{Ni})\text{S}$ – высокоцит $(\text{Pd}, \text{Ni})\text{S}$ в виде тонких включений (1-10 мкм) в хромшпинелидах ЦРТ. В предшествующих исследованиях (Горбунов, Пузик, 2018) была сделана попытка выделить последовательность формирования МПМ, которая имеет следующий вид: самородный осмий → эрликманит → лаурит → ирарсит, что может отражать эволюцию активности элементов (H, S, As,) в процессе серпентинизации.

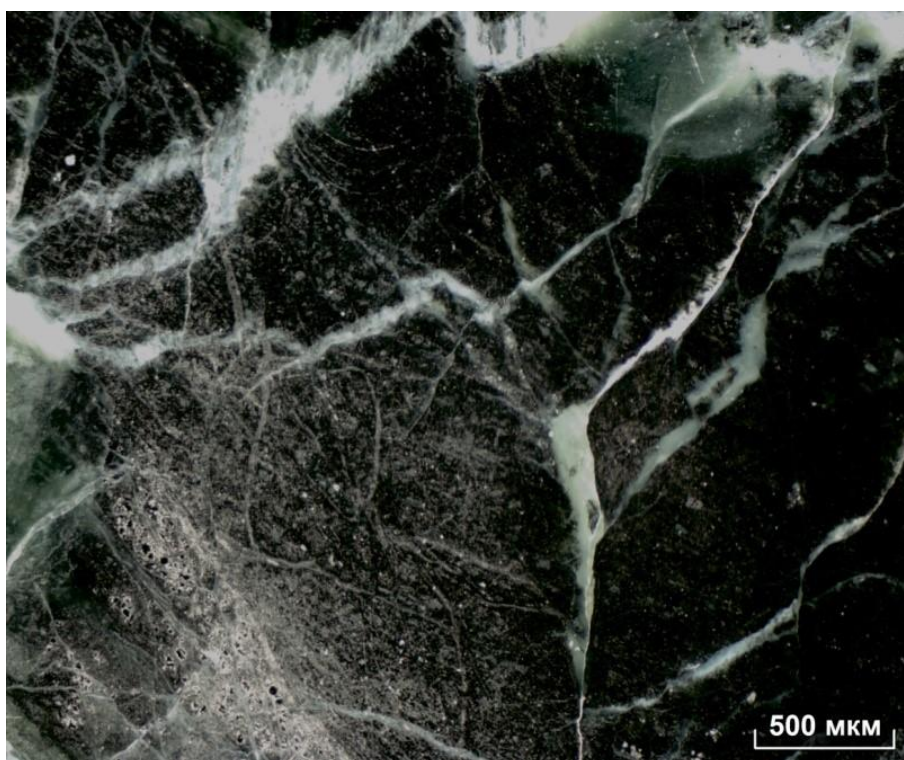


Рис.3. Фотография аншлифа №65 с сульфидной минерализацией

Детальное изучение обнаруженных сульфидов и их диагностика, невозможна без электронного микроскопа. Для этого использовался, сканирующий электронный микроскоп Jeol JSM-6390LV с электронно-зондовыми приставками для локального микроанализа. Он показал, что в химическом составе сульфидов преобладает никель и сера, а также элементы платиновой группы (табл.1). Межзерновое пространство представлено хлоритом (рис. 4).

Таблица 1 - Химический состав сульфидов Сарановского месторождения (масс.%)

№ X.Э.	65.2	65.4	75.5	77.1	80.1	80.3	82.1	83.1	84.1	86.4	90.1	94.1
S	34,57	34,46	34,65	35,36	35,26	35,21	34,47	34,3	34,22	35,19	34,71	34,3
Ni	56,2	55,67	54,08	52,08	52,16	52,35	54,00	53,99	54,36	52,26	52,83	52,7
Fe	0,13	0,17	0,09	0,81	0,13	0,21	0,14	0,61	0,59	0,67	0,22	0,45
Cr	0,27	0,21	0	0	0	0	0,00	0	0	0	0	0
Cu	0	0	0	0	0	0	0,13	0	0	0,09	0	0,14
Os	0,93	0,98	0,88	0,96	0,88	1,35	0,64	0,86	0,95	0,94	0,75	1,04
Ir	1,99	1,91	2,04	1,67	2,04	1,16	2,02	1,79	1,72	1,86	2,08	1,98
Pt	2,21	2,19	1,93	2,12	2,07	2,28	2,00	1,97	1,91	2,17	2,05	2,32
Pd	0,13	0	0	0,11	0	0	0	0	0	0	0	0
Ru	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Rh	0,16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Au	3,41	3,71	3,38	3,62	3,68	3,58	3,40	3	2,9	3,39	3,58	3,56
Co	0	0,7	2,96	3,27	3,78	3,87	3,20	3,48	3,35	3,43	3,29	3,35

Из полученных данных, построены графики распределения содержания основных исследуемых элементов (рис. 5 и рис. 6), а ниже представлены, рассчитаны их кристаллохимических формул. Все проанализированные сульфиды представлены миллеритом с различными содержаниями элементов платиновой группы и других металлов:

65.1	$(\text{Ni}_{0,95}\text{Au}_{0,02}\text{Ir}_{0,01}\text{Pt}_{0,01}\text{Cr}_{0,01})\text{S}_{1,09};$
75.5	$(\text{Ni}_{0,91}\text{Co}_{0,05}\text{Au}_{0,02}\text{Ir}_{0,01}\text{Pt}_{0,01})\text{S}_{1,06};$
77.1	$(\text{Ni}_{0,89}\text{Co}_{0,06}\text{Au}_{0,02}\text{Fe}_{0,01}\text{Ir}_{0,01}\text{Os}_{0,01}\text{Pt}_{0,01})\text{S}_{1,10};$
80.1	$(\text{Ni}_{0,89}\text{Co}_{0,06}\text{Au}_{0,02}\text{Ir}_{0,01}\text{Pt}_{0,01})\text{S}_{1,10};$
80.2	$(\text{Ni}_{0,89}\text{Co}_{0,06}\text{Au}_{0,02}\text{Ir}_{0,01}\text{Os}_{0,01}\text{Pt}_{0,01})\text{S}_{1,10};$
80.3	$(\text{Ni}_{0,89}\text{Co}_{0,07}\text{Au}_{0,02}\text{Ir}_{0,01}\text{Os}_{0,01}\text{Pt}_{0,01})\text{S}_{1,09};$
83.3	$(\text{Ni}_{0,9}\text{Co}_{0,06}\text{Au}_{0,02}\text{Ir}_{0,01}\text{Pt}_{0,01})\text{S}_{1,05};$
83.4	$(\text{Ni}_{0,87}\text{Co}_{0,05}\text{Fe}_{0,03}\text{Au}_{0,02}\text{Ir}_{0,01}\text{Os}_{0,01}\text{Pt}_{0,01})\text{S}_{1,05};$
90.1	$(\text{Ni}_{0,9}\text{Co}_{0,06}\text{Fe}_{0,03}\text{Au}_{0,02}\text{Ir}_{0,01}\text{Pt}_{0,01})\text{S}_{1,08};$
94.1	$(\text{Ni}_{0,89}\text{Co}_{0,06}\text{Fe}_{0,01}\text{Au}_{0,02}\text{Ir}_{0,01}\text{Os}_{0,01}\text{Pt}_{0,01})\text{S}_{1,06}.$

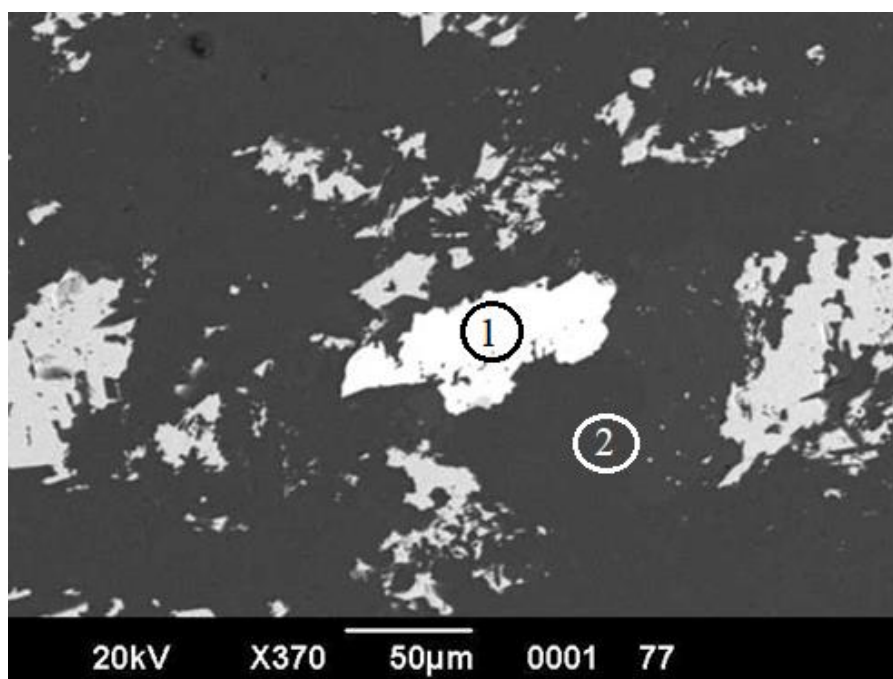


Рис.4. Снимок зерна миллерита (1) в хлорите (2) из ЗРТ
Главного Сарановского месторождения

Интересно, что было обнаружено немалое количество золота (рис.5). Возможно, оно появилось благодаря гидротермальной деятельности, с последующей серпентинизацией пород. Реакция присоединения гидроксил-иона к оливину, идущая с образованием протона водорода, широко известна и приводит к формированию большого числа самородных металлов в ультрамафитах (Новгородова, 1983). Локализация необычных для Сарановского месторождения самородных металлов на поверхности кристаллов миллерита, в том числе трещиноватых участков, отражает их образование после проявления тектонических подвижек (Чайковский, Коршунов, 2014). Поэтому повышенное содержание благородных элементов в виде золота в миллерите допускается, несмотря на отсутствие отдельных зерен самородного золота.



Рис. 5. Содержание золота в ЗРТ

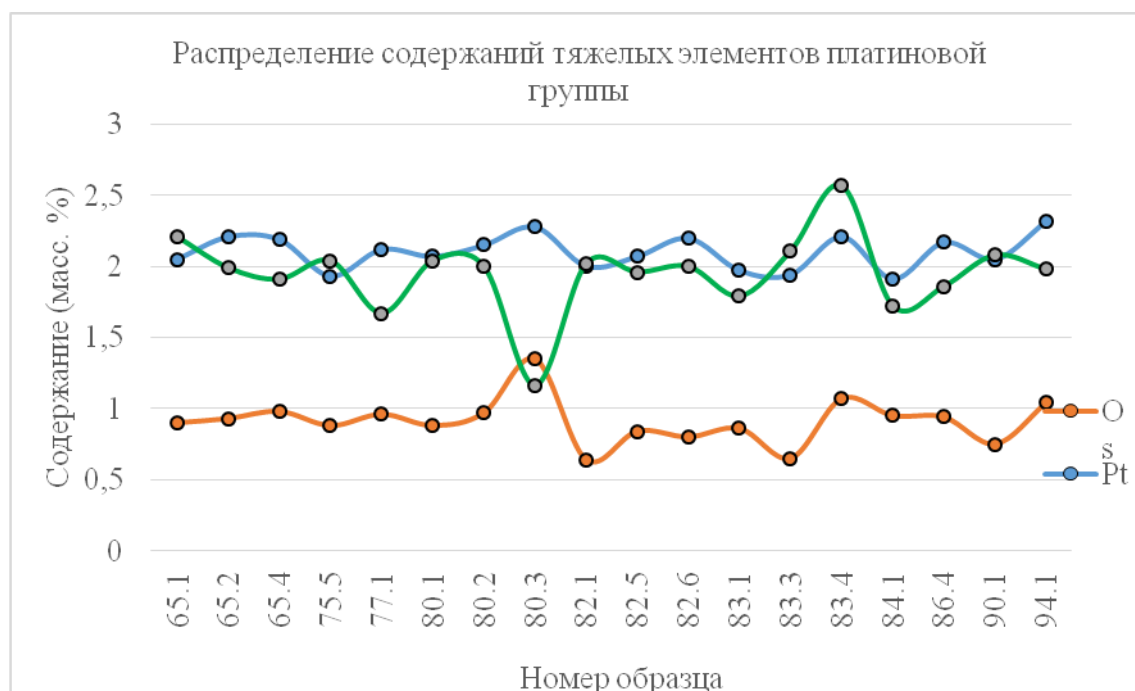


Рис. 6. Распределение содержаний ЭПГ в ЗРТ

Также отмечено уменьшение содержания никеля в сульфидах от кровли к подошве через Западное рудное тело и вмещающие его породы (рис.7). Объяснение этому еще предстоит выяснить, но в тех образцах, где самое высокое содержание никеля, отмечается усредненное или пониженное содержание остальных металлов: золота и ЭПГ. Так в пробе 80.3 наблюдается повышенное содержание осмия и платины, а в пробе 83.4 отмечается увеличение содержаний осмия, иридия, платины и золота, и, напротив, уменьшение содержаний никеля. Повышенные концентрации более тяжелых элементов платиновой группы, отмечаются ближе к подошве ЗРТ, при этом в первых образцах из кровли ЗРТ наоборот, встречаются более «легкие» платиноиды – палладий и родий.



Рис.7. Распределение содержаний никеля в ЗРТ

Работа на электронном микроскопе только начата, исследования продолжаются. Получены первые данные, которые требуют детальной обработки. Из 103 аншлифов, с сульфидами оказалось 56 образцов, а это половина всего разреза. Из них, с помощью электронного микроскопа, были проанализированы только 18 и представлены в данной работе.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования проект № 2019-0858.

Библиографический список

1. Волченко Ю.А. Избранные труды Т. 1. Платина Урала. Екатеринбург: УрО РАН, 2011. – С. 322-376.
2. Горбунов А.А., Пузик А.Ю. Сульфиды платиновых металлов Сарановского месторождения // Стратегия и процессы освоения георесурсов: сб. науч. трудов. Вып. 16 / ГИ УрО РАН. – Пермь, 2018. – С. 15-20.
3. 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 – 247.
4. Ибламинов Р.Г., Суслов С.Б. Сарановский комплекс: региональное положение, палеотектоника // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении. Сб. науч. статей. Пермь: Пермский ун-т, 2015. С. 145 – 153.
5. Новгородова М.И. Самородные металлы в гидротермальных рудах. М.: Наука, 1983. 288 с
6. Чайковский И.И., Коршунов А.А. Новые находки редкоземельных и благороднометалльных минералов на Сарановском месторождении // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении. Сб. науч. статей. Перм. ун-т. – Пермь, 2014. Вып. 17. С. 37-44.

ГИДРОСЕПАРАЦИЯ СУЛЬФИДНЫХ МЕДНО-НИКЕЛЕВЫХ РУД НОРИЛЬСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

В ходе исследования было установлено, что минералы платиновых металлов размером 100-50 мкм и меньше 50 мкм, хорошо извлекаются с помощью гидросепаратора. Также начата работа по диагностики этих минералов, с помощью электронного микроскопа. Первые полученные результаты представлены в данной статье.

Ключевые слова: гидросепарация, Норильское месторождение, сульфиды, минералы платиновых металлов.

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

THE HYDROSEPARATION OF THE SULPHIDE COPPER-NICKEL ORES FROM THE NORILSK DEPOSIT

In the course of the study, it was found that platinum metal minerals with a dimension of 100-50 microns and less than 50 microns are well extracted using a hydroseparator. Also, work has begun on the diagnosis of these minerals using an electron microscope. The first results obtained are presented in this article.

Key words: hydroseparation, Norilskoe deposit, sulfides, minerals of platinum metals.

Относительно новый метод получения тяжелой фракции – это гидросепарация. Он основан на разделении материала по гидравлической крупности в восходящем водном потоке, в стеклянной разделительной трубке, за счет воздействия центробежной силы и турбулентности (Аликин., Горбунов, Хасиятов, 2017, Аликин, 2017). В статье представлены результаты обогащения сульфидных медно-никелевых руд Норильского месторождения. Руды месторождений норильского типа характеризуются сходством генезиса, морфологии и минералогии, содержат меди больше, чем никеля, и несут повышенные концентрации платиновых металлов. Процессу выделения, с помощью гидросепаратора и изучению последних, посвящена данная статья.

Методика выполнения исследования представлена следующим образом. Регистрация пробы, макроскопическое описание и фотографирование. Затем проба была раздроблена с помощью щековой дробилки и истерта до крупности 10-100 мкм. Данная крупность необходима для обогащения на гидросепараторе.

После дробления и истирания, следует этап отсева в водной среде. На данной стадии необходимо произвести разделение на классы крупности, при этом нельзя допустить засорения мелких фракций зернами более крупной фракции, иначе это приведет к некачественному выполнению гидросепарации в будущем, и, следовательно, непредставительности концентратов. Известно, что эффективность протекания процессов гравитационного обогащения и концентрирования прямо пропорционально связана с интервалами крупности. То есть чем

в более узком интервале происходит гравитационное разделение частиц (в случае с гидросепарацией – по гидравлической крупности), тем меньше разубоживание и потери. Рассев в водной среде обеспечивает эффективное проседание частиц крупностью менее 80 мкм сквозь сито. Также удобством является то, что в дальнейшем обогащение проходит в водной среде, а значит, нет необходимости проводить предварительную сушку. При расसेве использовался логарифмический набор сит. Рассев в водной среде выполнялся на ситах вручную. Использовались сита с размерами ячеек 50 и 100 мкм. Для каждой фракции использовалась своя накопительная чаша. После окончания процесса рассева в водной среде, проба отстаивается сутки, и удаляются излишки воды. При необходимости, производится дополнительный, контрольный рассев каждой фракции, чтобы исключить засорение крупными зернами.

Непосредственно сам процесс гидросепарации был выполнен с помощью пульсатора CNT HS-11, режимы работы которого регулируются при помощи программного обеспечения, установленного на компьютер; расходомера; стеклянных трубок различной длины. Оборудование соединено между собой силиконовыми шлангами (рис. 1).

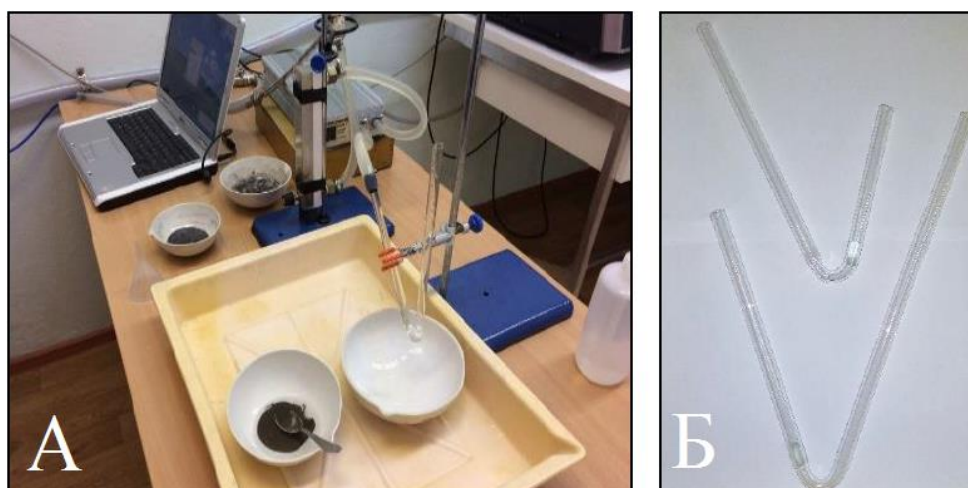


Рис. 1. А - Общий вид установки для проведения гидросепарации, Б - трубки для гидросепарации

Поэтапный принцип обогащения с помощью гидросепаратора представлен ниже. Каждая фракция помещалась в стеклянную трубку в виде суспензии, где, благодаря турбулентному потоку, суспензия переходила во взвесь, после чего частицы осаждались на дно стеклянной трубки в соответствии с их гидравлической крупностью. При этом легкие частицы вымывались из трубки, а тяжелые находились внизу или оставались на дне. В результате получался концентрат. Используя способ гидросепарации, удастся разделять в воде частицы разных минералов, даже очень малых размеров (5 мкм). Способ применим для свободных частиц, имеющих разницу в плотности не менее 0,5 г/см³. После окончания доводки конечный концентрат помещался в керамическую посуду и лабораторный сушильный шкаф при температуре 100°C.

Завершающий этап пробоподготовки, это изготовление плоскополированных препаратов (шайб). Чтобы изучаемый образец правильно

взаимодействовал с электронным пучком электронного микроскопа, он должен быть плоским и идеально ровным. Для обеспечения возможности осуществления качественной полировки, из концентратов изготавливаются плоско-полированные препараты с эпоксидной смолой.

Изготовление плоско-полированных препаратов (шайб) включает в себя две стадии, заливка эпоксидным клеем и полировка. Эпоксидный клей состоит из двух компонентов: эпоксидной смолы и отвердителя. Клеевой состав следует изготавливать небольшими порциями. Пресс форма представляет собой двух-компонентную пресс-форму из полипропилена (рис. 2).

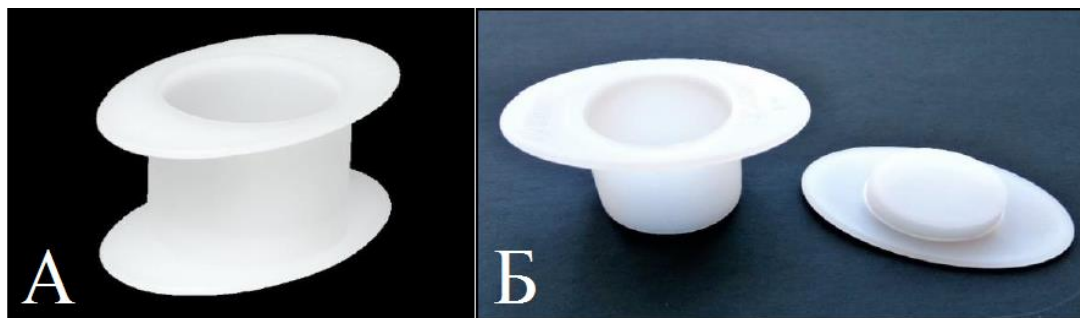


Рис. 2. Пресс-форма. А - Вид в собранном и Б - разобранном состоянии

Пресс-форма стерилизовалась при помощи спирта, чтобы удалить жиры и остатки смолы и материала предыдущих работ. Кроме того, пресс-форма смазывалась вазелиновым маслом, чтобы избежать склеивания эпоксидного клея с формой. Концентраты помещались на дно пресс-формы и равномерно распределялись по поверхности. После чего форма с концентратом заливалась эпоксидным клеем. Полное засыхание препарата занимало 3-7 дней (Аликин, 2017). Перед полировкой необходимо убедиться в том, что шайбы окончательно затвердели и высохли, иначе эпоксидный клей начинает слипаться, образуются отверстия.

Полировка проводилась при помощи абразивной бумаги, а именно водостойкой шлифовальной бумаги, крупность зерен в которых 10-14, 7-10 и 5-7 мкм. Бумага помещается на ровную плоскую поверхность, на нее добавляется небольшое количество воды, чтобы в процессе полировки не происходило выкрашивания зерен из шайбы.

На данный момент получены первые микрофотографии минералов платиновых металлов крупностью 100-50 мкм (рис. 3) и меньше 50 мкм (рис. 4), извлеченных из сульфидных медно-никелевых руд Норильского месторождения с помощью обогащения на гидросепараторе, а также определен их химический состав (табл. 1, 2).

В ходе исследования было установлено, что минералы платины хорошо извлекаются с помощью гидросепаратора. Извлеченные минералы представлены включением полярита в халькопирите (рис. 3), а также включением таймырита в сростке ферроникельплатины и изоферроплатины (рис. 4). В работе представлена малая часть того, что предстоит проанализировать. Последующее детальное изучение химического состава минералов платиновых металлов, поможет получить информацию, как о стадиях, так и о процессах их образования.

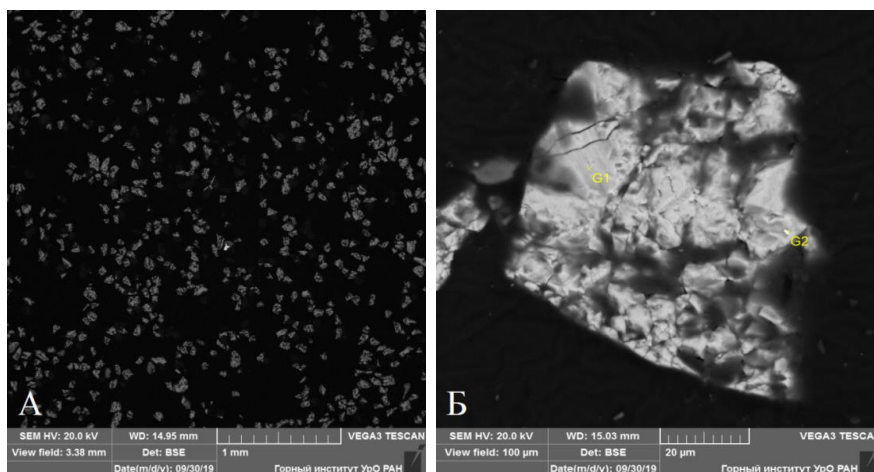


Рис. 3. Тяжелая фракция сульфидных медно-никелевых руд Норильского месторождения фракции 0,1-0,05 мм. А - панорама поверхности шайбы, Б - включение полярита в халькопирите.

Таблица 1. Химический состав зерен фракции 0,1-0,05 мм к рисунку 3

Элемент	G1	G2
O		8.72
Si		1
S	37.37	15.91
Fe	32.03	12.92
Ni		0.4
Cu	33.47	12.57
Pd		42.56
Bi		4.56
Pb		17.05
Сумма	102.87	115.69

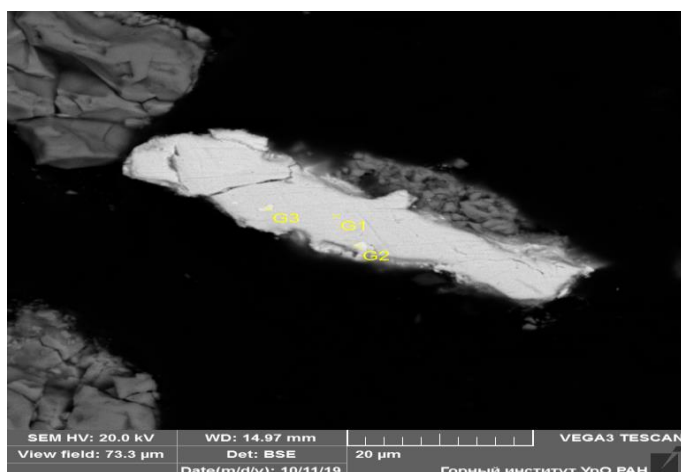


Рис. 4. Включение таймырита (G1) в сростке ферроникельплатины (G2) и изоферроплатины (G3), фракция 0,1-0,05 мм.

Таблица 2. Химический состав зерен фракции 0,1-0,05 к рисунку 4.

Элемент	G1	G2	G3
O	1.84	1.55	1.44
Fe	0.39	15.46	11.85
Ni		3.14	2.84
Cu	9.76	4.21	5.74
Pd	42.53		8.72
Sn	25.59		4.64
Pt	24.02	71.27	65.91
Сумма	104.12	95.63	101.15

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования проект № 2019-0858.

Библиографический список

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.

Аликин О.В. Изучение малосульфидного оруденения Восточно-Панского Интрузива (Федорово-Панский массив, Кольский п-ов) // Магистерская диссертация студента 2 курса магистратуры геологического факультета. Пермь, ПГНИУ, 2017. 57 с.

ИГОЛЬЧАТЫЙ РУТИЛ ПОМЯНЁННОГО КАМНЯ (ПЕРМСКИЙ КРАЙ, ЮЖНОЕ ПРИТИМАНЬЕ)

Игольчатый рутил зафиксирован на территории Южного Притиманья впервые. Образование его связывается с регенерацией рутила под влиянием минералообразующих растворов, циркулирующих в зонах тектонических нарушений. Для картирования таких зон предлагается обратить внимание на изогнутые зерна игольчатого рутила.

Ключевые слова: Южное Притиманье, Помяненный Камень, ордовик, конгломераты, игольчатый рутил, регенерация, изогнутый рутил, тектонические нарушения.

Y.G. Paktovsky
Perm State University, urijpaktovskij65@gmail.com

NEEDLE RUTILE OF THE REMEMBERED STONT MOUNTAIN (PERM REGION, SOUTH CIS-TIMAN)

There is the Remembered Stone mountain in the south part of Polyudov Ridge on the territory of South Cis-Timan. The mountain is composed of conglomerates of the Polyudovskaya suite of Ordovician (O_{3pl}). They lie with stratigraphic and sharp angular disagreement on the deposits of the Upper Riphean and Vendian. Needle rutile discovered on this territory for the first time. Its formation is associated with rutile regeneration under the influence of mineral-forming solutions circulating in the zones of tectonic faults. It is proposed to pay attention to the curved grains of needle rutile for mapping such zones.

Key words: South Cis-Timan, Remembered Stone, Ordovician, conglomerates, needle rutile, regeneration, curved rutile, tectonic faults.

Гора Помянённый Камень находится в южной части Полюдова кряжа на территории Южного Притиманья. Геологическая позиция г. Помянённый Камень оригинальна тем, что конгломераты ордовика (O_{3pl}) непрерывной полосой отложений северо-восточного простирания с резким угловым и стратиграфическим несогласием ложатся сразу на несколько стратиграфических уровней верхнего рифея (RF₃) и венда (V₁₋₂). Южное и восточное ограничение Помянённого Камня – тектоническое, связанное с чешуйчатым надвиганием герценид Урала, вытянутых меридионально, на периферию Восточно-Европейской платформы. При этом простирание тектонических структур Южного Притиманья – северо-западное, согласное с общим простиранием байкалитид Тимана. Такое положение на стыке трех крупных структур отражается в напряженной тектонике региона. Данная статья посвящена возможности применения минералогического метода при картировании тектонических нарушений и связанной с ними минерализацией. Успешное применение метода связано с использованием барита как индикаторного минерала зон разломов (Ишков и др., 1967; Серебренников и др., 1983; Петухов, Куртлацков и др., 2000). Однако, сведений об игольчатом рутиле у предшественников нет. В обширном минеральном кадастре Полюдо-

во-Колчимского поднятия упоминание об игольчатом рутиле также отсутствует (Чайковский, 2001).

В полевой сезон 2019 года близ северной вершины (абс. отм. 727 м) г. Помянный Камень нами отобрана литологическая проба, предположительно, в зоне тектонического разлома. На влияние тектоники указывают несколько признаков. Выровненная площадка, образующая понижение в куэстовом рельефе между двумя останцами с отчетливой слоистостью и трещинами отдельности верхней подсвиты ордовика ($O_3 pl_3$). Каменный материал на самой площадке частично дезинтегрирован и выделяется более интенсивным красным цветом по сравнению с белоцветными и розовато-светло-серыми мелкогалечными конгломератами окружения. Северная граница предполагаемой зоны разлома достаточно резко ограничена небольшим останцом, а южная – закрыта крупным курумом, образованным непосредственно перед останцом северной вершины (рис. 1). Общая ширина этой зоны может достигать 200 м, простирание западное, поперечное простиранию Помянённого Камня.



Рис. 1. Место предполагаемого разлома на г. Помянённый Камень (фото А..В Коноплева)

В материал пробы вошли обломки и гальки частично дезинтегрированных мелкогалечных конгломератов. В лаборатории кафедры минералогии и петрографии ПГНИУ гальки были освобождены от материала матрикса с помощью ручного дробления с сохранением галек для морфологического изучения (Пактовский, Илалтдинов, 2020). Пробоподготовка проведена по типовой методике обработки литологических проб (Осовецкий, 2004). Для количественного минералогического анализа, по опыту предыдущих работ, выбран мелкопесчаный гранулометрический класс 0,25-0,1 мм, который разделен в бромформе на легкую и тяжелую фракции. Тяжелая фракция взвешена на аналитических весах с точностью до четвертого знака и изучена под бинокулярным микроскопом. В дальнейшем в бромформе были разделены еще два класса для получения дополнительных данных. Результаты количественного минералогического анализа приводятся в таблицах 1, 2, 3.

Таблица 1. Минеральный состав аллотигенной части тяжелой фракции пробы, %

№ п/п	Минерал / разность	Гранулометрические классы, мм		
		0,5-0,25	0,25-0,1	0,1-0,05
1	Турмалин	2,0	1,8	1,1
2	Лейкоксен	84,0	74,2	40,2
3	Циркон	8,0	10,1	39,1
4	Анатаз	2,0	6,9	16,3
5	Рутил красный и оранжевый	2,0	4,6	1,1
6	Брукит	2,0	-	-
7	Ставролит	-	2,3	-
8	Хромшпинелид	-	-	2,2
Сумма		100,0	100,0	100,0

Таблица 2. Минеральный состав аутигенной части тяжелой фракции пробы, %

№ п/п	Минерал / разность	Гранулометрические классы, мм		
		0,5-0,25	0,25-0,1	0,1-0,05
1	Гидрогетит	55,7	49,6	54,2
2	Псевдоморфозы гидрогетита по пириту (гексаэдры)	1,1	-	0,8
3	Гематит	6,9	0,8	7,5
4	Железная слюдка	-	1,1	3,3
5	Барит	31,0	41,9	31,7
6	Рутил игольчатый	5,2	6,5	2,5
Сумма		100,0	100,0	100,0

Таблица 3. Разности игольчатого рутила тяжелой фракции пробы, шт. и %

№ п/п	Разности игольчатого рутила	Гранулометрические классы, мм					
		0,5-0,25		0,25-0,1		0,1-0,05	
1	Длинностолбчатый	6	66,7	5	21,7	1	33,3
2	Игольчатый, волосовидный и сноповидный	1	11,1	8	34,8	2	66,7
3	Изогнутый	-	-	7	30,4	-	-
4	Вростки игольчатого в длинностолбчатый	-	-	3	13,0	-	-
5	Длинностолбчатый и игольчатый в сростках с кварцем	2	22,2	-	-	-	-
Итого		9	100,0	23	100,0	3	100,0

Как и ожидалось, представительным для количественного минералогического анализа оказался класс 0,25-0,1 мм. Минеральная ассоциация тяжелой фракции класса характеризуется двумя исключительно устойчивыми минералами – лейкоксом (микрозернистый рутил) и цирконом. Их них лейкоксен, типоморфный минерал кор выветривания, может указывать на гипергенное изменение породы. Характерно, что и в других гранулометрических классах (0,5-0,25 и 0,1-0,05 мм) лейкоксен преобладает. Все зерна аллотигенных минералов хорошо окатаны (за исключением, пожалуй, мелкокристаллического анатаза) и по

размеру тяготеют к нижнему пределу мелкопесчаного гранулометрического класса. Интересно появление метаморфогенного ставролита в мелкопесчаном классе пробы.

Аутигенная часть тяжелой фракции представлена небольшим набором минералов и их разновидностей: гидрогетитом, гематитом и баритом. Сюда же мы отнесли игольчатый рутил по причинам, о которых будет сказано ниже. Среди аутигенных минералов в мелкопесчаном классе преобладает гидрогетит (49,6%). Он также преобладает в среднеспесчаном и в грубоалевритовом классах. Гидрогетит считается одним из главных минералов, указывающих на степень гипергенного изменения породы, прежде всего на степень изменения цемента, приводящего к расцементации и в дальнейшем к дезинтеграции породы.

С этой точки зрения интересно отметить, что преобладающее в аутигенной части тяжелой фракции всех трех изученных классов количество гидрогетита коррелирует с преобладанием лейкоксена – в аллотигенной их части (табл. 1, 2).

Количество зерен барита, немногим уступающее количеству зерен гидрогетита, причем во всех трех гранулометрических классах пробы, может быть связано, как уже сказано выше, с другим фактором, а именно – тектоническим.

Третьим минералом аутигенной части тяжелой фракции, заслуживающим внимания, является игольчатый рутил. Морфологически он принципиально отличается от хорошо окатанного аллотигенного рутила.

Встреченные нами разности игольчатого рутила сведены в таблицу 3. Приведенное в данной таблице количество зерен минерала, пожалуй, даже показательнее процентного их содержания. Общее количество игольчатого рутила невелико (табл. 2, 3), но оно сразу бросается в глаза даже при беглом просмотре тяжелой фракции.

Характерно, что и в данном случае наибольшее количество зерен минералов сосредоточено в мелкопесчаном классе. Под бинокулярным микроскопом, прежде всего, привлекают внимание необычные форма и цвет минерала. Кроме того, минерал непрозрачен.

Хорошо известны три цвета рутила: черный, красный, оранжевый. Цвет игольчатого рутила в тяжелой фракции пробы – светло-серый, белёсый, или, если сказать иначе, – это эффект осветления цвета минерала.

Учитывая, что цвет рутила зависит от примесей, можно предполагать незначительное их содержание. Микрозондовый анализ (аналитик О.В. Коротченко-ва) показал правоту этого предположения (табл. 4).

Таблица 4. Химический состав игольчатого рутила, мас. %

Элемент	1	2
O	40,87	42,27
Ti	58,49	57,47
Fe	0,36	0,25
Сумма	99,72	99,99

Как видно из таблицы 4, химический состав рутила прост, лишен достаточно частых примесей магния, марганца, кальция, а примесь железа является минимальной. Это может свидетельствовать о высокой чистоте минералообразующих растворов (Кривовичев, 1981). Считается, что в отсутствие примесей из минералов оксида титана растет только рутил, при этом отложение рутила происходит при более высоких температурах, чем брукита и анатаза, которые возникают только при наличии стабилизирующих примесей на последних стадиях процесса кристаллизации (Кораго, 1984).

В литературе существует классификация рутила различного облика, изученного под растровым электронным микроскопом (Козлов и др., 1986). Авторами классификации выделяются длинностолбчатый, игольчатый и волосовидный рутил. Эти различия преобладают также и в нашей пробе, что может свидетельствовать о реальности классификации. В эту же группу различий вошли зерна, собранные как бы в пучки или в снопы, рассыпающиеся и сминающиеся при легком давлении. Понятно, что подобные зерна минералов не могут быть подвержены ни малейшему переносу или сохранению при литификации осадка, что подтверждает их аутигенное происхождение. Сюда же мы отнесли вроски игольчатого рутила в длинностолбчатый, наподобие арматуры, торчащей из бетонной балки с тетрагональным сечением, – наглядный пример регенерации рутила (рис. 2). Сходный эффект описан А.А. Кораго (1984) на месторождении Челн-Из, где иглы рутила "торчат" из кристаллов кварца. При этом многие иглы изогнуты. Когда речь идет о достаточно больших объемах вещества, как о месторождении, изученном и описанном А.А. Кораго, источником титана являются вмещающие породы, преимущественно метаморфические сланцы с породообразующим хлоритом и метасоматиты по ним в последовательности минералообразования: хлорит – серицит – рутил – ильменит – апатит – монацит, ксенотим, кальцит – горный хрусталь. Для мобилизации титана в минералообразующих растворах для регенерации рутила в классе песчаной размерности может быть вполне достаточно вещества цемента вмещающих пород. В составе тяжелой фракции нашей пробы также встречены стростки рутила и кварца, рутила и барита, что в целом говорит о несравненно меньшей минерализации растворов, чем в условиях, когда в роли вмещающих выступают породы зеленосланцевой фации.

Отдельно следует рассмотреть вопрос об изогнутом игольчатом рутите. В нашем случае иглы рутила изогнуты с одного конца, как носки лыж (рис. 3). Такие зерна встречаются только в классе 0,25-0,1 мм (табл. 3). Пластический изгиб хрупкого при обычных условиях призматического кристалла невозможен в процессе его свободного роста. Такая деформация предполагает внешнее воздействие, на что обратил внимание Г.Н. Вертушков (1949). Он связал возникновение пластических деформаций рутила с ориентированным давлением на него (не ниже 10000 атмосфер) и предложил рассматривать пластически изогнутые кристаллы рутила как приблизительные геологические "динамометры". Позднее М.А. Плескова (1989) отмечала, что изменение морфологии кристаллов рутила можно использовать при расчленении метаморфических толщ, поскольку основные концентрации рутила связаны с метаморфическими процессами.

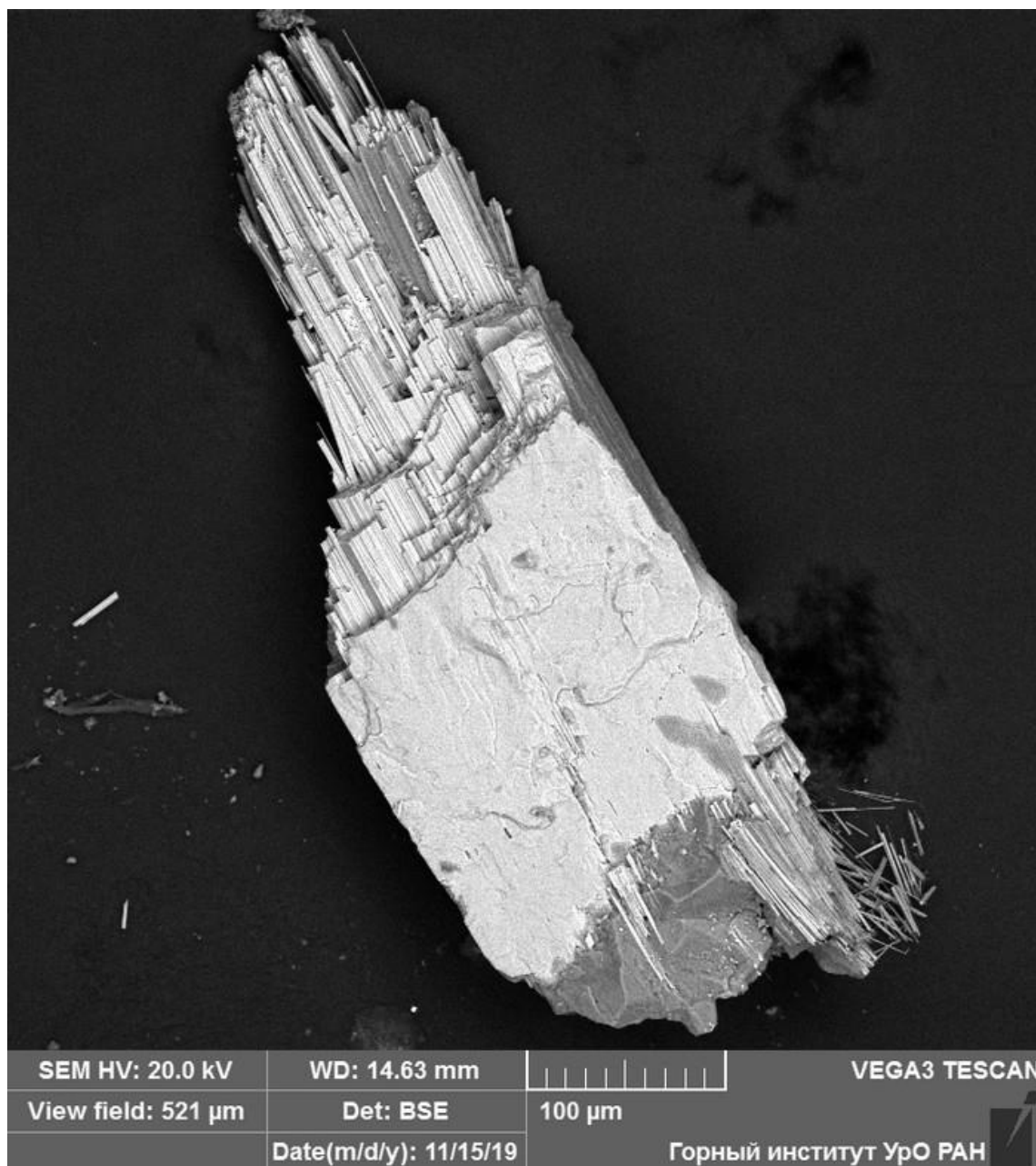


Рис. 2. Регенерация игольчатого рутила (фото О.В. Коротченковой)

Процессы динамометаморфизма в Южном Притиманье определяются тектоникой, поэтому изогнутые зерна рутила могут указывать на зоны разломов, по которым происходят смещения блоков горных пород. В свою очередь, А.А. Кораго связывает образование игольчатого рутила (и кварца-волосатика) в большей степени с метасоматозом и с влиянием минералообразующих растворов на регенерацию рутила и кварца на границе разнокомпетентных пород. В любом случае, тектоника и метасоматоз не исключают друг друга.

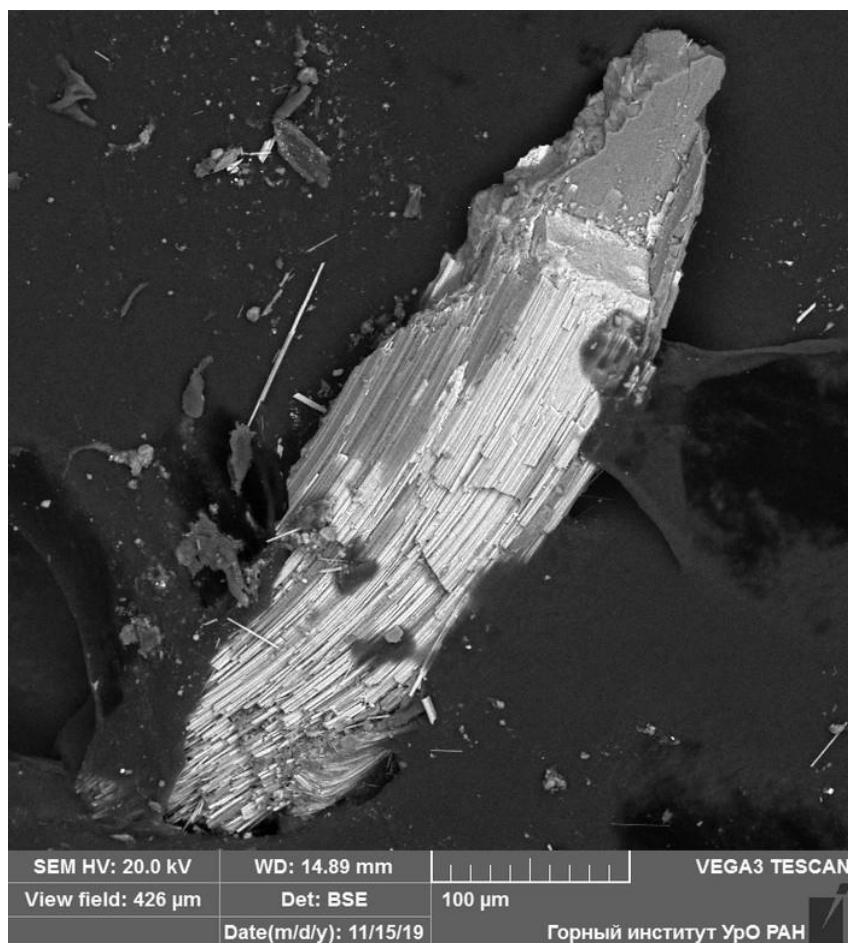


Рис. 3. Изогнутый рутил (фото О.В. Коротченковой)

Для Южного Притиманья интересно отметить регенерацию игольчатого рутила в толщах, проницаемых для минералообразующих растворов, а изогнутый рутил – рассмотреть как типоморфный минерал (наряду с баритом) для определения зон тектонических нарушений.

Библиографический список

1. Вертушков Г.Н. Рутил с речки Сухой Сугомак из окрестностей г. Кыштыма на Урале // ЗВМО. Часть 78. Вып. 1. М.–Л.: Изд-во АН СССР, 1949. С. 19–25.
2. Козлов А.В., Кораго А.А., Филиппов В.Н. Каналы в кристаллах рутила // ЗВМО. Часть 115. Вып. 3. Л.: Наука, 1986. С. 340–344.
3. Кораго А.А. Условия образования кварца-волосатика // ЗВМО. Часть 113. Вып. 1. Л.: Наука, 1984. С. 15–26.
4. Кривовичев В.Г. Условия образования некоторых минералов железа и титана в апобазитовых метасоматитах // ЗВМО. Часть 111. Вып. 6. Л.: Наука, 1981. С. 699–703.
5. Осовецкий Б.М. Минералогия мезокайнозоя Прикамья. Пермь: Изд-во ПГУ, ПСИ, ПССГК, 2004. 292 с.
6. Пактовский Ю.Г., Илалтдинов И.И. О генезисе конгломератов полюдовской свиты г. Помяненный Камень в Южном Притиманье // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении. Научные чтения памяти П.Н. Чирвинского. Сб. науч. статей / отв. ред. И.И. Чайковский. Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Вып. 23. Пермь, 2020. С. 140–145.
7. Плескова М.А. Рутил // Типоморфизм минералов. Справочник. М.: Недра, 1989. С. 392–397.
8. Чайковский И.И. Петрология и минералогия интрузивных алмазонасных пирокластитов Вишерского Урала. Пермь: Изд-во Перм. ун-та, 2001. 324 с.

МЕТОДИЧЕСКИЙ АСПЕКТ ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПЛАСТА В НА ТОЧНОСТЬ ПОДСЧЕТА ЗАПАСОВ СОЛЕЙ

В статье рассмотрено влияние изменений параметров пласта на точность подсчета запасов солей при разведке Верхнекамского месторождения.

Ключевые слова: Верхнекамское месторождение солей, сильвиниты пласта В, расхождение запасов разведки и отработки.

D.S. Gribkov¹, A. S. Suntcev¹
¹JSC «VNII Galurgiya », Perm, dmitriy.gribkov@uralkali.com
²Perm State University, suntcev1@yandex.ru

METHODICAL ASPECT OF ESTIMATION OF INFLUENCE OF LAYER V PARAMETERS ON ACCURACY OF SALT RESERVES CALCULATION

The article considers the influence of changes in reservoir parameters on the accuracy of calculating salt reserves during the exploration of the Verkhnekamskoye field.

Key words: Verkhnekamskoe deposit of salts, sylvinit layer V, the discrepancy between the stocks of exploration and mining.

По мере отработки запасов солей в геологических блоках Верхнекамского месторождения часто появляются расхождения между фактическими данными и данными об их количестве, качестве и подсчетных параметрах, ранее утвержденных уполномоченным экспертным органом на стадии разведки (переоценки). Отличия объясняются более плотной сетью наблюдений по результатам эксплуатационной разведки, опробования горно-подготовительных, нарезных и очистных выработок и по материалам геолого-маркшейдерского учета. Часть запасов остается неотработанной по различным причинам, как правило, связанным с мерами охраны рудника от затопления.

В настоящей статье проанализированы причины расхождения запасов стадий разведки и эксплуатации на примере двух геологических блоков балансовых запасов сильвинита по пласту В (с условными номерами I и II) категории А, добычные работы на которых завершены. Блоки находятся в центральной части Верхнекамского месторождения на лицензионном участке, обрабатываемом ведущим производителем калийных удобрений.

Первые скважины с земной поверхности на площади участка пробурены в 1927 году, сейчас их количество более 80, глубина составляет от 96,3 до 451,0 м. Шахтное поле разбурено глубокими «солеразведочными» скважинами по неравномерной сети (примерно 2×2 км). Структурные скважины дополняют разведочную сеть до 1×1 км. Плотность скважин, вскрывших соляное зеркало, довольно высокая и составляет 0,81 км²/скв. Подземная доразведка проводи-

лась в период 1976-1989 гг. Подземные эксплуатационные геологоразведочные работы сгущают сеть опробования в среднем до 200×200 м.

В целом геологический разрез соленосной толщи в границах рассматриваемого участка типичен строению всего Верхнекамского месторождения, за исключением антиклинальных структур, где растворены верхние части разреза соляной толщи.

Соленосные отложения приурочены к иренскому горизонту кунгурского яруса нижней перми. Горизонт представлен березниковской свитой и состоит из двух толщ – глинисто-ангидритовой и соляной. Соляная толща имеет форму линзы мощностью до 550 м, прослеживается в меридиональном направлении на 206 км, в широтном – до 56 км (Кудряшов, 2013). Толща подразделяется (снизу вверх) на подстилающую каменную соль, калийную залежь и покровную каменную соль.

Многопластовая залежь калийно-магниевых солей расположена внутри контура соляной толщи. Залежь представлена серией продуктивных пластов, разделенных каменной солью. По составу продуктивных пластов залежь калийно-магниевых солей делится на сильвинитовую и карналлитовую пачки (зоны).

Сильвинитовая пачка (зона) состоит из трех пластов красного сильвинита (КрIII, КрII и КрI) и пласта полосчатого сильвинита А, которые отделены друг от друга межпластовой каменной солью (КрII-КрIII, КрI-КрII, А-КрI). Мощность сильвинитовой пачки в среднем составляет 22,0 м.

Карналлитовая пачка (сильвинит-карналлитовая зона) представлена пластами калийно-магниевых солей, разделенных пластами каменной соли. Выделяется девять основных пластов калийных солей, выдержанных в разрезе и на площади месторождения, которые индексируются буквами от Б до К. Общая мощность карналлитовой пачки составляет около 75 м.

Выше по разрезу залегает покровная каменная соль, которая распространена на преобладающей площади шахтного поля, но отсутствует на сводах куполов, где она выщелочена подземными водами, так же как и верхи карналлитовой пачки.

Выше березниковской свиты залегают отложения уфимского яруса нижней перми: соликамский горизонт, выделенный в объеме соликамской свиты, которая разделена на две подсвиты, и шешминская свита. Завершают разрез четвертичные отложения.

Промышленными пластами являются пласты КрII, АБ и В, при сильвинитовом составе имеющие мощности в среднем 6,5, 4,6 и 5,6 м соответственно и содержание КСI в среднем 23,99, 33,08 и 35,25 % соответственно.

В тектоническом отношении Участок приурочен к южной части Соликамского поднятия, которое вытянуто в субмеридиональном направлении и имеет асимметричное строение. Более крутое его западное крыло погружается в сторону Камского прогиба, а восточное – обрамляет с запада Тверитинскую мульду. Развита складчатость различных порядков.

Максимальная мощность рудника по добыче сильвинитовой руды составляла более 9 млн т, в настоящее время основные работы на руднике направлены на закладочные работы. Подготовка запасов к выемке – панельная. Отбойка руды

производилась механизированным способом проходческими комбайнами.

Запасы участка неоднократно пересчитывались. Результаты последнего подсчета запасов солей на площади участка апробированы на заседании ГКЗ Роснедра в 2019 году. Рассмотренные ниже блоки были выделены при подсчете запасов 2006 года по кондициям, утвержденным в 2004 году.

Блок балансовых запасов сильвинита I-A пласта В расположен в центре лицензионного участка. Имеет неправильную форму, отдаленно напоминающую песочные часы, вытянутые в меридиональном направлении, с пережимом в средней части блока. На момент подсчета запасов блок включал оставшиеся запасы сильвинита отрабатываемой части западного фланга шахтного поля, оконтуренные по литологической границе, контурам аномалии водозащитной толщи III группы и площади погашенных запасов. Запасы и параметры пласта были определены по 15 подземным пересечениям.

На момент переоценки запасов в контур блока включены отработанные до 2006 года площади, которые составили 367,5 тыс. м² или 31,3 % от площади по внешнему контуру блока.

В процессе эксплуатации сеть опробования незначительно сгустилась – с 15 до 30 пересечений, в основном за счет подземных скважин. Расстояние между пересечениями изменяется от 100 до 600 м, при этом северная часть блока отличается большим количеством пересечений и регулярностью их расположения (Рис. 1).

После подсчета и утверждения запасов ГКЗ Роснедра в 2006 году изменение (уменьшение) их количества в блоке происходило в результате:

- добычи и потерь при добыче на площади 269,3 тыс. м² или на 33,4 % от площади блока, принятой при подсчете запасов, на основании данных государственной статистической отчетности (форма 5-гр);

- по причинам утраты промышленного значения и неподтверждения (на площади 536,5 тыс. м² – 66,6 % от площади блока, принятой в подсчете запасов) на основании акта на списания запасов и заключений государственной экспертизы по рассмотрению материалов по оперативному изменению состояния запасов.

Блок II балансовых запасов сильвинита категории А выделен на восточном фланге шахтного поля и имеет форму, похожую на прямоугольный треугольник (рис. 1). Западная граница блока определяется литологической границей распространения сильвинита, северная – контуром погашенных запасов, восточная – границами лицензионного участка, южная – опирается на скважину 636. Запасы и параметры блока при переоценке запасов определены по 15 скважинам. На момент переоценки запасов, в контур блока включены отработанные до 2006 года площади, которые составили 1,25 тыс. м² или 0,05 % от площади по внешнему контуру блока.

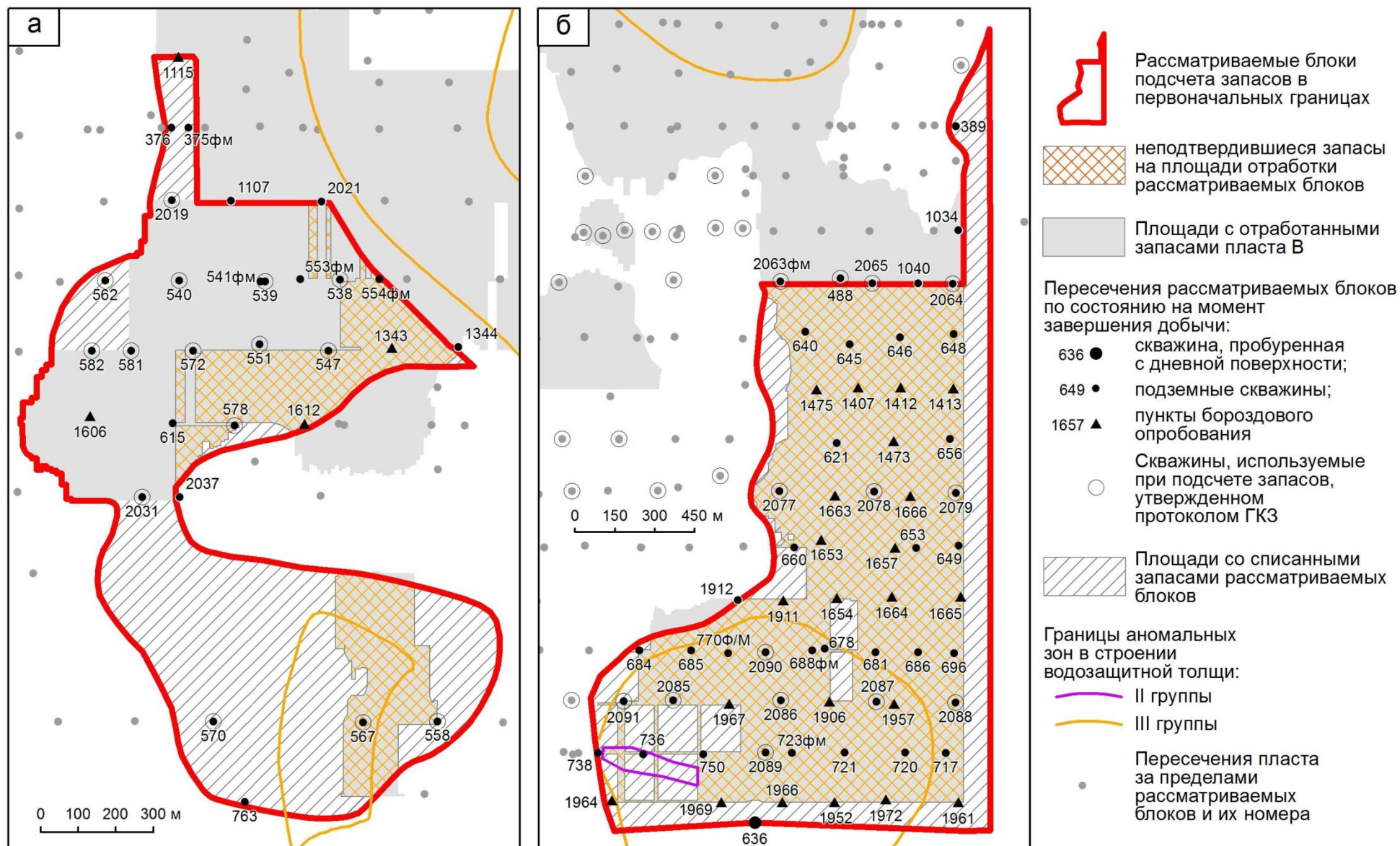


Рис. 1 Схема блоков подсчета запасов I-A (а) и II-A (б) пласта В

В процессе эксплуатации количество пунктов опробования на площади блока II увеличилось в четыре раза (с 15 до 65 пересечений) и покрыло его практически равномерной сетью с размером ячейки около 200×200 м.

Запасы в блоке планомерно отрабатывались в период с 2006 по 2014 год включительно. Площадь погашения в результате добычи и потерь при добыче составила 1589,5 тыс. м² или 69,2 % от площади блока, принятой в подсчете запасов. Остальная часть запасов блока списана в результате утраты промышленного значения и неподтверждения (на площади 708,0 тыс. м² – 30,8 % от площади блока, принятой в подсчете запасов) на основании заключений государственной экспертизы по рассмотрению материалов по оперативному изменению состояния запасов.

В пределах рассматриваемых геологических блоков наблюдаются расхождения между фактически добытыми и утвержденными в 2006 году количествами запасов. Добытых запасов сырых солей меньше расчетных их значений по блоку I-A на 23,4 % (отн.), по блоку II-A на 7,6 % (отн.).

Для выяснения причин расхождений (неподтверждения запасов) проведено сравнение основных подсчетных параметров (площадь, мощность, содержание KCl, объемная масса) и запасов солей по блокам согласно положениям «Методических рекомендаций по сопоставлению данных...».

При сопоставлении данных разведки и разработки для вычисления новых уточненных параметров блока была использована та же методика подсчета, что и при первоначальном подсчете запасов, утвержденном ГКЗ. Средние содержания компонентов по пересечениям в пределах пласта определялись способом средневзвешенного на длину определенного интервала опробования. Мощность определялась как среднее арифметическое. При определении среднеблочных содержаний также использован метод средневзвешенного по мощности. Объемная масса определялась расчётным способом через химический состав по эмпирической формуле, апробированной ГКЗ. Площади подсчитывались по координатам угловых точек полигонов в программе ArcGIS.

Расчеты свидетельствуют о том, что количество запасов руды и полезного компонента, подсчитанных по данным разведочных работ, несколько больше по отношению к таковым по данным эксплуатационного опробования (в контуре, утвержденном уполномоченным органом), что связано в основном с расхождениями в значениях мощности пласта. Так, по данным эксплуатационного опробования и очистных работ мощность меньше установленной при подсчете запасов: в блоке I-A на 0,32 м или 4,78 %, в блоке II-A на 0,28 м или 4,55 %. Причина столь внушительного расхождения между данными разведки и очистных работ заключается в том, что в расчет при переоценке 2006 года были включены подземные скважины (четыре скважины в блоке I-A и две – в блоке II-A) с аномальными значениями мощности пласта В, расположенные в местах интенсивной складчатости пласта. Ниже приведен пример (Рис. 2), иллюстрирующий изменение мощности пласта на расстоянии 12 м из-за складчатости с 6 м (скважина 541фм) до 11,37 м (скважина 539).

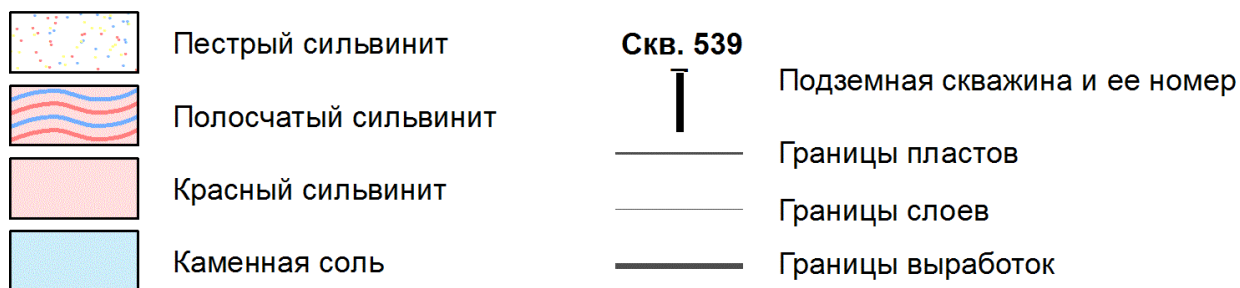
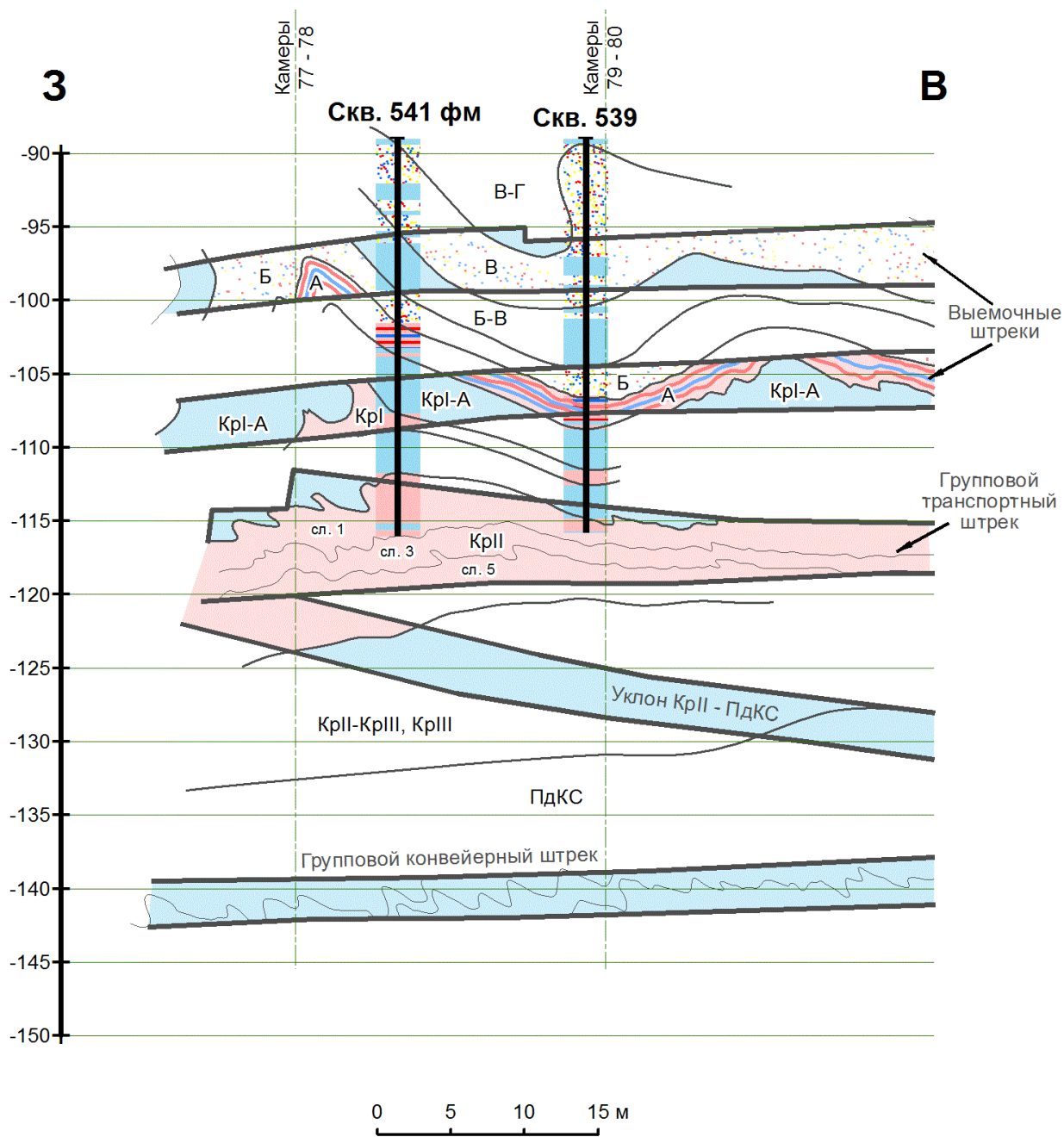


Рис. 2 Фрагмент зарисовки выемочного штрека в районе подземных скважин 539 и 541фм

Расхождения остальных подсчетных параметров существенно меньше, влияние их изменчивости на конечную величину запасов незначительно.

Для подтверждения этих выводов применен методический прием – проведен анализ чувствительности отдельно для каждого из параметров на примере блока II-A. Расчеты выполнены с изменением рассматриваемых параметров (мощности, содержания KCl, объемной массы) по отношению к базовому варианту на величины: для мощности $\pm 5\%$, $\pm 15\%$, $\pm 25\%$; для KCl – $\pm 1\%$, $\pm 3\%$, $\pm 5\%$; для объемной массы – $\pm 0,05\%$; $\pm 0,15\%$; $\pm 0,25\%$ (Таблица). Поскольку значение объемной массы во многом зависит от химического состава солей, т.е. является его «производной», дополнительно проведен расчет при ее изменении наряду с содержанием KCl, выступающим при этом в качестве аргумента. За базовый вариант для того или иного параметра приняты соответствующие среднеблочные значения, полученные при утверждении запасов в рассматриваемых блоках. Пики указанных диапазонов выбраны исходя из максимального их соответствия фактическим пределам полученных расхождений в относительных единицах для каждого из анализируемых параметров.

Анализ таблицы показывает, что изменения в запасах руды (сырых солей) и/или полезного компонента (K_2O) прямо пропорциональны увеличению или уменьшению на заданную величину каждого из параметров в отдельности. При комплексном же изменении – содержания полезного компонента и объемной массы, происходит частичная компенсация полученных расхождений в запасах полезного компонента. Это обусловлено алгоритмом расчета, заложенным в «модель чувствительности». Так, изменяя содержание KCl на соответствующую величину (как в большую, так и меньшую сторону), при определении объемной массы по упомянутой выше формуле пропорционально изменялось и содержание NaCl. Конечно, при ее расчете участвуют и другие качественные показатели – $MgCl_2$, $CaSO_4$ и нерастворимый в воде остаток. Однако, содержания этих элементов столь малы, что при варьировании их величин в заданных пределах значение объемной массы не претерпевает сколько-нибудь существенных изменений и колеблется, как правило, в диапазоне $\pm 0,5\%$ от исходного (от 2,06 до 2,08 т/м³).

Следовательно, если оценить в долях единиц влияние каждого из параметров (по модулю) на полученные расхождения в контуре фактической отработки в рассматриваемых блоках I-A и II-A, то получается, что:

- на мощность приходится около 0,96 д.ед. и 0,86 д.ед. соответственно;
- на содержание KCl – 0,03 д.ед. и 0,13 д.ед. соответственно;
- на объемную массу – около 0,01 д.ед. и менее 0,01 д.ед. соответственно.

Таким образом, количество запасов на участках фактической добычи блоков I-A и II-A, равное величине полученных расхождений, было предложено к списанию и впоследствии успешно списано с учета Государственного баланса и баланса предприятия как неподтвердившиеся из-за снижения величины мощности пласта по отношению к среднеблочной, установленной при утверждении запасов.

Таблица. Запасы в блоке II-A в зависимости от изменения подсчетных параметров пласта В.

Процент измене- ния пара- метра	Площадь, тыс. м ²	Мощность, м	Объем- ная мас- са, т/м ³	Содержа- ние KCl, %	Запасы, тыс. т		Процент изменения запасов от базы	
					сырых солей	K ₂ O	сырых солей	K ₂ O
Изменение мощности								
-25	2297,6	4,61	2,067	35,19	21905	4870	25,00	25,01
-15		5,23			24826	5519	15,00	15,01
-5		5,84			27747	6169	5,00	5,00
0		6,15			29207	6494	0,00	0,00
5		6,46			30667	6818	-5,00	-4,99
15		7,07			33588	7468	-15,00	-15,00
25		7,69			36509	8117	-25,00	-24,99
Изменение содержания KCl								
-5	2297,6	6,15	2,067	33,43	29207	6169	0,00	5,00
-3				34,13	29207	6299	0,00	3,00
-1				34,84	29207	6429	0,00	1,00
0				35,19	29207	6494	0,00	0,00
1				35,54	29207	6559	0,00	-1,00
3				36,25	29207	6688	0,00	-2,99
5				36,95	29207	6818	0,00	-4,99
Изменение объемной массы								
0,25	2297,6	6,15	2,072	35,19	29280	6510	-0,25	-0,25
0,15			2,070		29251	6503	-0,15	-0,14
0,05			2,068		29222	6497	-0,05	-0,05
0,00			2,067		29207	6494	0,00	0,00
-0,05			2,066		29192	6490	0,05	0,06
-0,15			2,064		29163	6484	0,15	0,15
-0,25			2,062		29134	6477	0,25	0,26
Изменение содержания KCl с завязанной на KCl объемной массой (изменения по KCl компенсируются NaCl)								
-5	2297,6	6,15	2,070	33,43	29249	6178	-0,14	4,87
-3			2,069	34,13	29235	6304	-0,10	2,93
-1			2,068	34,84	29221	6432	-0,05	0,95
0			2,067	35,19	29207	6494	0,00	0,00
1			2,066	35,54	29193	6555	0,05	-0,94
3			2,066	36,25	29193	6686	0,05	-2,96
5			2,064	36,95	29165	6808	0,14	-4,84
Примечание – Серым цветом выделены базовые значения.								

Библиографический список

1. Кудряшов А.И. Верхнекамское месторождение солей. М.: «Эпсилон Плюс». 2013.
2. Методические рекомендации по сопоставлению данных разведки и разработки месторождений твердых полезных ископаемых. М., 2007.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТРАТЕГИИ ОТРАБОТКИ ВЗРЫВНОГО БЛОКА НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ОПЕРАТИВНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ (НА ПРИМЕРЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ СТРОИТЕЛЬНОГО ГИПСА)

В работе рассмотрен метод определения стратегии отработки взрывного блока, в котором присутствует прослой внутренней вскрыши, представленной доломитом, снижающий качество гипса в массиве блока. В основу выработки стратегии положены геологические данные, полученные в ходе бурения взрывных скважин на Соколино-Саркаевском месторождении гипса и ангидрита (Кунгурский район Пермского края).

Ключевые слова: стратегия отработки, взрывной блок, качество гипса, прослой внутренней вскрыши, доломит

K.O. Khudenkikh, V.A. Kuznetsova

Ergach Ltd, Ergach, Kungur district, Perm region, ms002@ergach0.ru

DETERMINATION OF THE STRATEGIA OF THE BLAST BLOCK BASED ON ANALYSIS OF OPERATIONAL GEOLOGICAL DATA (FOR EXAMPLE GYPSUM PLASTER DEPOSITS)

In article the method of determination the strategy of blast blocks elaboration where was present inside layer of empty breed (dolomite) which reduces the quality of the gypsum in the array of the unit is considered. The strategy is based on geological data obtained during of blast hole drillings on Sokolino-Sarkaevsk field of gypsum and anhydrite (Kungur district of Perm region).

Keywords: strategy of elaboration, blast block, quality of gypsum, inside layer of empty breed, dolomite

При разработке месторождений строительного гипса открытым способом на стадии добычных работ наиболее важным является своевременно и с наибольшей степенью точности определить качество полезного ископаемого. Некоторое представление об этом дают разведочные скважины, пройденные на этапе геологоразведочных работ и в ходе эксплуатационной разведки. Но, зачастую, этих данных не достаточно для объективной оценки качества гипса в массиве.

Качество гипса определяется процентным показателем «содержание $\text{CaSO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$ ». По сути, этот показатель характеризует содержание в гипсе кристаллизационной воды и вычисляется умножением значения потерь при прокаливании на коэффициент 4,7785. Чем выше содержание $\text{CaSO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$, тем качественнее гипс.

Основным фактором, оказывающим влияние на качество гипса, является наличие примесей, которые чаще всего представлены карбонатными породами и обвальнo-карстовым материалом, заполняющим погребенные воронки и карстовые полости (Худеньких, 2018). Ангидрит, несмотря на то, что является сульфатной породой, также может рассматриваться как вредная примесь, т.к. оказывает влияние на производственные циклы и некоторые характеристики

гипсового вяжущего, получаемого при переработке гипсового камня, добываемого на месторождениях строительного гипса (Худеньких, Безматерных, 2018).

В данной работе авторами рассмотрено определение стратегии отработки взрывного блока, в котором присутствует прослой внутренней вскрыши, представленной доломитом, снижающий качество гипса в массиве блока. В основу выработки стратегии положены геологические данные, полученные в ходе бурения взрывных скважин на Соколино-Саркаевском месторождении гипса и ангидрита (Кунгурский район Пермского края).

Бурение взрывных скважин производится по сетке $3,5 \times 3,5$ м до отметки +150 м с подробным геологическим описанием каждой скважины, что позволяет с высокой степенью детальности охарактеризовать геологическое строение взрывного блока. В результате обработки полученных геологических данных выяснено, что в подошве взрывного блока присутствует прослой доломита мощностью до 1,6 м (рис. 1).

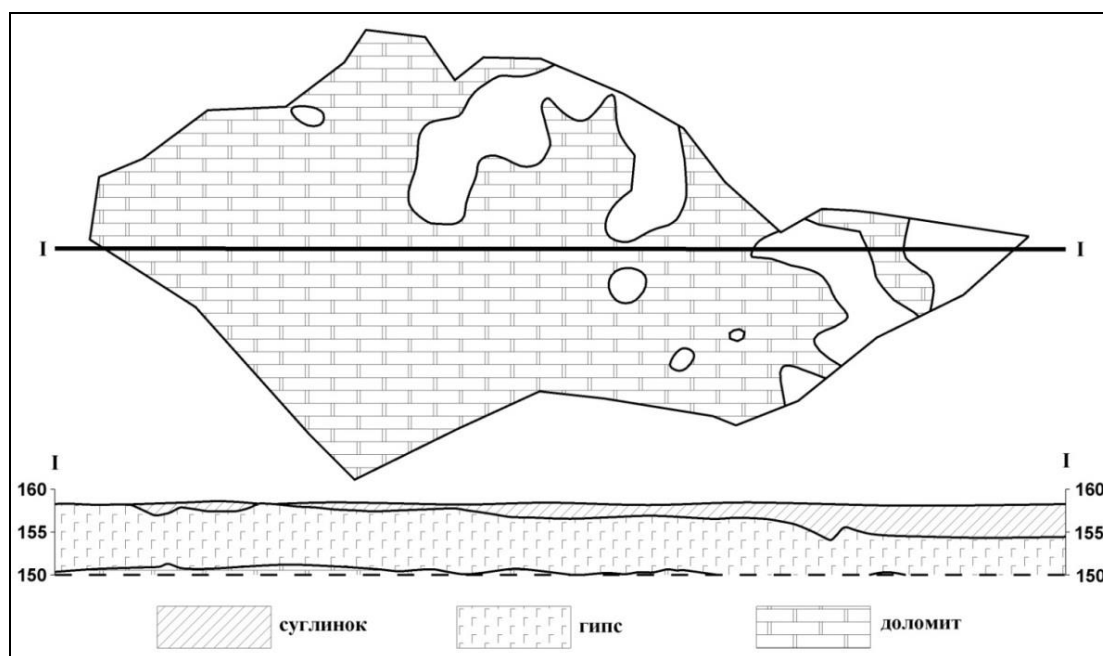


Рис. 1 Ареал распространения прослоя доломита в подошве блока и геологический разрез

Для оценки влияния выявленного прослоя доломита на качество гипса после проведения взрывных работ из развала были отобраны образцы доломита для лабораторного определения содержания в них $\text{CaSO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$. Установлено, что содержание $\text{CaSO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$ в доломите составляет 25,3%. По данным имеющихся разведочных скважин, попавших в границы взрывного блока, определено среднее содержание $\text{CaSO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$ в гипсе – 83,2%. Содержание $\text{CaSO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$ в гипсе находится в линейной зависимости от количества примеси. В программе MS Excel выведена формула этой линейной зависимости для полученных данных (25,3% и 83,2%):

$$y = -0,579x + 83,2,$$

где: y – содержание $\text{CaSO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$ (%);
 x – процентное содержание примеси в гипсе.

На следующем этапе построена схема распределения прослоя доломита в пределах блока по его мощности (рис. 2). Выделены контура с интервалами

мощностей более 1,0 м, 1,0-0,5 м, 0,5-0,0 м и участки, где доломит отсутствует. Для каждого интервала определены средние мощности прослоя доломита и гипса, вычислены проценты от средней мощности блока в пределах выделенных контуров (табл.).

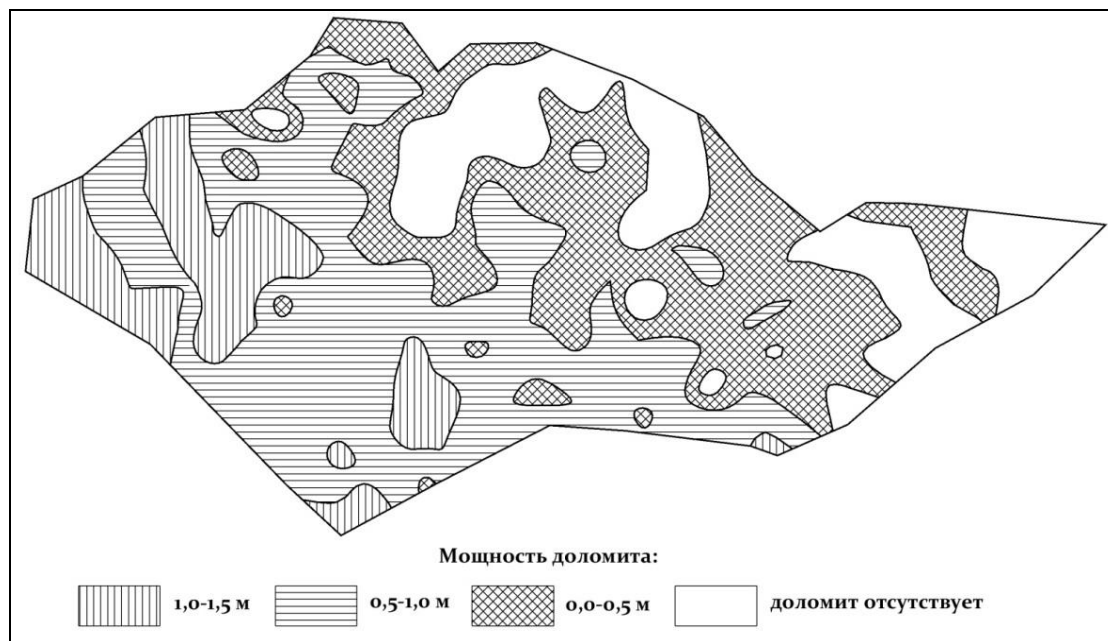


Рис. 2 Распределение прослоя доломита по мощности в пределах взрывного блока

Таблица. Мощности доломита и гипса и их процент от общей мощности блока в пределах выделенных контуров распространения

Интервал мощности прослоя доломита, м	Средняя мощность блока в пределах выделенного контура, м	Средняя мощность прослоя доломита, м	Процент Доломита от общей мощности, %	Средняя мощность гипса, м	Процент гипса от общей мощности, %
>1	7,76	1,19	15,34	6,57	84,66
1-0,5	7,20	0,74	10,28	6,46	89,72
0,5-0	6,60	0,26	3,94	6,34	96,06

Для оценки влияния прослоя доломита на качество гипса полученные значения процента доломита от общей мощности подставлены в выведенную формулу линейной зависимости:

$$-0,579 \times 15,34 + 83,2 = 74,32\%$$

$$-0,579 \times 10,28 + 83,2 = 77,24\%$$

$$-0,579 \times 3,94 + 83,2 = 80,92\%.$$

Таким образом, чтобы получить содержание $\text{CaSO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$ в гипсе более 80%, необходимо, чтобы мощность доломитового прослоя не превышала 0,5 м. Следовательно, стратегия отработки взорванной массы должна учитывать такую отметку подошвы уступа, чтобы исключить попадание доломита совсем или отрабатывать не более 0,5 м прослоя доломита.

Представленный метод может применяться не только на месторождениях строительного гипса, но и на других месторождениях, где ведется добыча одно-

го полезного ископаемого, качество которого находится в линейной зависимости от загрязняющих примесей.

Библиографический список

1. Худеньких К.О. Оценка качества гипса Соколино-Саркаевского месторождения и факторов, влияющих на его снижение // Материалы IX Международной научно-практической конференции «Повышение эффективности производства и применения гипсовых материалов и изделий» / Под научной редакцией А.Ф. Бурьянова. М.: Изд-во «Де Нова», 2018. С. 218-225.
2. Худеньких К.О., Безматерных С.В. Локализация линз ангидрита в промышленной толще гипса Соколино-Саркаевского месторождения // Геология и полезные ископаемые Западного Урала: сб. науч. ст. / под общ. ред. Р.Г. Ибламинова; Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2018. Вып. 1(38). С. 99-102.

К.О. Худеньких

ООО «Ергач», п. Ергач Кунгурского района Пермского края, ms002@ergach0.ru

ОСОБЕННОСТИ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ СОКОЛИНО-САРКАЕВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ГИПСА И АНГИДРИТА

В статье представлено геологическое строение полезной толщи Соколино-Саркаевского месторождения гипса и ангидрита. Верхняя часть полезной толщи представлена гипсами, нижняя – ангидритами. Полезная толща осложнена линзами и прослоями ангидритов и доломитов, а также поверхностными и внутренними карстовыми формами. Представлены различные типы карста по положению в разрезе. Сделан вывод, что Соколино-Саркаевское месторождение отнесено ко II группе по сложности геологического строения.

Ключевые слова: Соколино-Саркаевское месторождение гипса и ангидрита, полезная толща, геологическое строение, карстовые формы, прослой доломита

K.O. Khudenkikh

Ergach Ltd, Ergach, Kungur district, Perm region, ms002@ergach0.ru

FEATURES OF GEOLOGICAL STRUCTURE OF SOKOLINO-SARKAEVSK FIELD OF GYPSUM AND ANHYDRITE

In article the geological construction of useful thickness of Sokolino-Sarkaevsk field of gypsum and anhydrite is presented. The upper part of the useful thickness is represented by gypsum lower part by anhydrite. The useful thickness is complicated by lenses and layers of anhydrite and dolomite and surface and internal karst forms. Different types of karst on the position in the cut are presented. Conclusion is made what Sokolino-Sarkaevsk field is classified to II group on the complexity of geological structure.

Key words: Sokolino-Sarkaevsk field of gypsum and anhydrite, useful thickness, geological structure, karst forms, layers of dolomite

Соколино-Саркаевское месторождение гипса и ангидрита расположено в Кунгурском районе Пермского края, разрабатывается с 1928 г. открытым способом.

Соколино-Саркаевское месторождение, как и, в основном, все месторождения гипса, осадочного происхождения эпигенетического типа. Образование гипса здесь произошло путем первоначального отложения безводного сульфата кальция (CaSO_4 – ангидрита) с последующей его гидратацией при воздействии атмосферных осадков и грунтовых вод.

На месторождении отрабатывается сульфатная толща, залегающая первой от поверхности земли. Полезная толща месторождения представлена гипсами и ангидритами лунежской пачки кунгурского яруса нижнепермской системы мощностью 40-45 м, сверху перекрытой соликамскими терригенными породами (15-20 м) и элювиальными глинами четвертичного возраста (5-7 м). Снизу полезную толщу подстилают карбонатные породы туюйской пачки кунгурского яруса (рис. 1) (Худеньких, 2019).

Отработка месторождения ведется пятью уступами: двумя вскрышными (горизонты +175 м и +165 м) и тремя добычными (горизонты +150 м, +137 м и +125 м). На горизонте +150 м ведется добыча гипсового камня, на горизонте +137 м – гипсового и ангидритового, на горизонте +125 м – ангидритового (рис. 1).

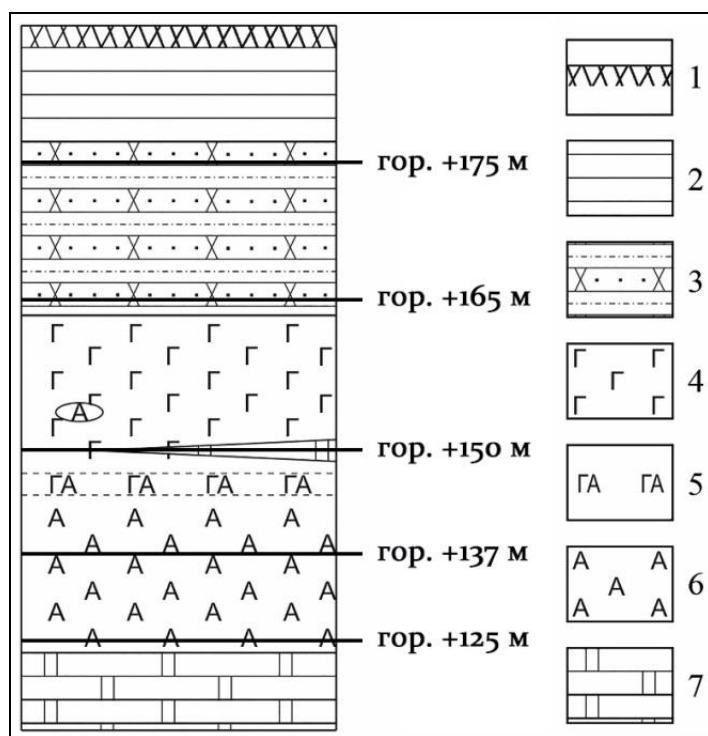


Рис. 1. Схематический разрез Соколино-Саркаевского месторождения (вне масштаба):
1 – почвенно-растительный слой; 2 – глина; 3 – терригенные породы; 4 – гипс;
5 – гипсоангидрит и ангидритогипс; 6 – ангидрит; 7 – доломит

Верхняя часть полезной толщи представлена гипсами и имеет пластообразную форму. Толща гипса в виде узкой полосы вытянута вдоль коренного берега р. Бабки. В присклоновой части месторождения гипсы залегают непосредственно на туюйских доломитах, т.е. ангидриты прогидратированы полностью на всю

мощность лунежской пачки. Клинообразное сечение гипсовой толщи в поперечнике обусловлено степенью гидратации ангидритов, которая на склоне коренного берега реки происходила более интенсивно, как правило, на всю мощность ангидритов, залегающих выше уровня реки. С удалением от бровки коренного берега в сторону водораздела интенсивность гидратации уменьшалась.

По текстурным особенностям на Соколино-Саркаевском месторождении выделяются три основные литологические разновидности гипса: массивный, сетчатый и слоистый.

Гипс массивный, иногда белый, сахаровидный, плотный, крепкий, с включением крупных пластинчатых прозрачных кристаллов, мелкокристаллический; чаще пятнистый серый и светло-серый, плотный, мелкокристаллический. Пятнистость обусловлена чередованием изометричных участков белого и серого гипса.

Гипс сетчатый белый до серого различных оттенков. Сетчатость обусловлена наличием системы замыкающихся трещин, которые носят хаотичный характер. Ими основная масса гипса разбита на отдельные «обломки» неправильной формы. Трещины и пустоты между обломками гипса заполнены доломитом и мергелем, образуя довольно плотную и достаточно крепкую «брекчеподобную» породу. Доломит и мергель в данном случае играют роль цемента. Толщина сетки от 0,5-1,0 мм до 1-2 см. По размеру обломков гипс крупно-, средне- и мелкозернистый.

Гипс слоистый (линзовидный) представлен серыми различных оттенков разновидностями гипса мелкокристаллического, переслаивающимися с темно-серым доломитом. Прослойки гипса и доломита часто имеют неправильную форму и непостоянную мощность, образуя линзовидную текстуру. Мощность прослоек и линзочек гипса и доломита 0,1-2,0 см.

В гипсовой толще встречаются линзы ангидрита (Худеньких., Безматерных, 2018) и прослойки доломита мощностью до 3 м, а в единичных случаях до 5 м. В прослоях доломита встречается селенит.

Мощность гипсов может достигать 45 м и более.

Средняя часть полезной толщи представлена так называемой переходной зоной, представленной гипсоангидритами и/или ангидритогипсами и гораздо реже доломитом. Но эта зона проявляется далеко не повсеместно. Анализ литологических колонок разведочных скважин, уточненных по данным химического анализа, на участке Саркаевский показал, что из 223 скважин переходная зона, представленная переходными разновидностями (гипсоангидрит и ангидритогипс) выявлена только в 53-х, что составляет 24%, доломитом – только в 6 скважинах или 3%. Мощность переходной зоны от 0,5 до 5 м. Какие факторы влияют на наличие (отсутствие) переходной зоны еще предстоит выяснить.

В местах, где переходная зона отсутствует, гипсы залегают прямо на ангидритах, которыми сложена нижняя часть полезной толщи. Структурно-текстурные особенности ангидритов такие же, как и у гипсов. В верхней части толщи залегает ангидрит серый слоистый мелкокристаллический крупносетчатый, в нижней – массивный скрыто-кристаллический голубовато-серый. В ангидритовой толще также встречаются прослойки карбонатов, представленных до-

ломитами и мергелями, мощностью до 3 м. Помимо карбонатов в ангидритовой толще часто встречаются включения и прослои гипсов.

Так прослой гипса встречен почти повсеместно в основании ангидритовой толщи, т.е. на границе лунежской сульфатной и туюнской доломитовой пачек. Мощность его колеблется в незначительных пределах и составляет 3-4 м, редко более. Характерной особенностью этого слоя гипса является расположение его на уровне сезонных колебаний местного базиса эрозии, которым в данном случае является урез воды в р. Бабке. Он прослеживается далеко вглубь водораздела, образуя, таким образом, вторую гидратационную зону (второй этаж гидратации). Если гипс, залегающий в кровле лунежской пачки, обязан своему происхождению деятельности поверхностных вод, то гипс, залегающий в подошве этой пачки, образовался под воздействием подземных вод. Так как породы лунежской пачки практически безводны, последними могут быть только воды р. Бабки. Отсюда «вытекает» обособленность образования этих слоев гипса. В присклоновой части месторождения происходит наложение процессов гидратации, связанных с деятельностью как поверхностных, так и подземных вод. Здесь ангидриты гидратировались в различных направлениях: сверху, снизу и со стороны коренного склона берега р. Бабки, что привело к более полному (на всю мощность) переходу ангидритов в гипс.

Мощность ангидритов может достигать 25 м.

Сульфатная толща Соколино-Саркаевского месторождения не обводнена. Скважинами вскрыта зона аэрации или вертикального нисходящего движения инфильтрационных вод, формирующихся за счет атмосферных осадков, включающая спорадически распространенную подзону подвешенных карстовых вод, которая приурочена к водопорам – это, как правило, крепкие массивные ангидриты. Подвешенный горизонт подземных вод маломощный, область его питания совпадает с областью его распространения.

Верхняя гипсовая часть сульфатного массива Соколино-Саркаевского месторождения сильно закарстована. Эта толща представляет собой эпикарстовую зону, которая наиболее сильно подвержена карстовым процессам, происходившим как в прошлом, так и происходящим в настоящее время (Худеньких, Катаев, 2018).

По положению в разрезе выделяются два основных типа карста: поверхностный и внутренний. Поверхностный тип разделен на два подтипа: открытый и закрытый. Поверхностный открытый карст имеет выход на дневную поверхность и отражается в рельефе месторождения в виде многочисленных карстовых провалов, воронок, оврагов, логов и других форм. Поверхностный закрытый карст выявлен в кровле гипсовой толщи по данным бурения и геофизических работ, а также в процессе проходки карьеров. На дневной поверхности этот тип карста не выражен. Формы внутреннего карста развиты в полезной толще гипса в виде заполненных и незаполненных пустот и трещин, он вскрыт разведочными скважинами и в бортах карьеров (рис. 2).

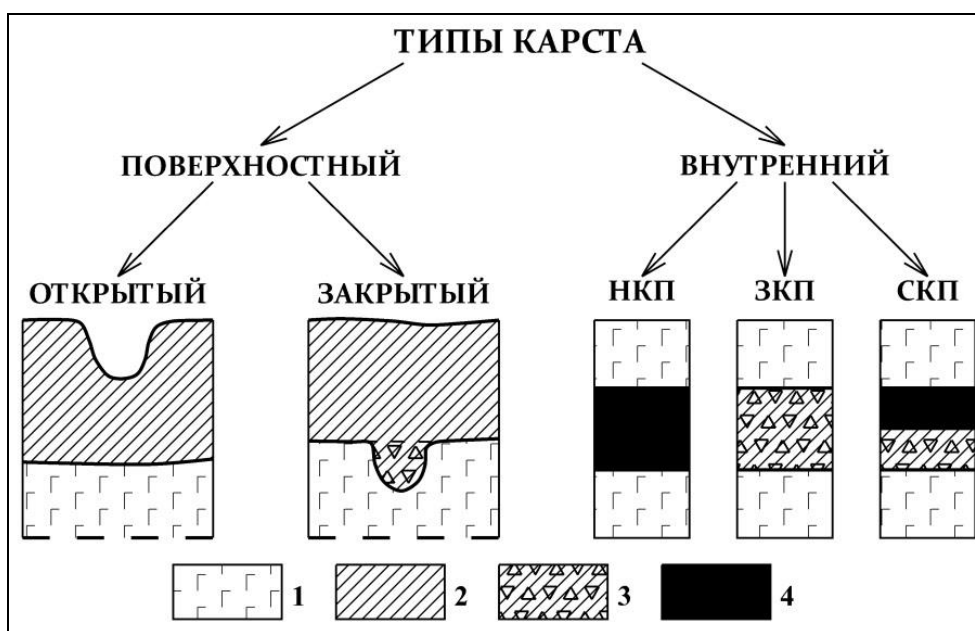


Рис. 2. Типы карста Соколино-Саркаевского месторождения: 1 – гипс; 2 – вскрышные породы; 3 – заполнитель карстовых форм; 4 – незаполненные карстовые полости.

Аббревиатуры: НКП – незаполненная карстовая полость; ЗКП – заполненная карстовая полость; СКП – смешанная карстовая полость

При изучении поверхностного открытого типа карста на площади месторождения описано 607 карстовых воронок, плотность размещения которых составляет 250,8 вор./км².

Все карстовые воронки в зависимости от конфигурации в плане и разрезе разделены на четыре вида: блюдцеобразные, чашеобразные, конусообразные и щелеобразные. Наибольшее распространение имеют конусообразные (362 воронки – 59,6%), блюдцеобразные и чашеобразные (218 воронок – 35,9%). Незначительным распространением пользуются щелеобразные воронки (27 воронок – 4,5%), которые распространены только в присклоновой части месторождения.

По размерам наиболее распространены воронки, диаметром в поперечнике от 0 до 20 м. По глубине большинство воронок 2-7,5 м. Большая часть воронок задернована (84,4%), в остальных 15,6% встречены выходы гипса.

Все приведенные выше данные свидетельствуют, что на Соколино-Саркаевском месторождении развит мелкий карст, характерной особенностью карстовых воронок месторождения является преобладание в несколько раз их ширины над глубиной, причем с увеличением размера воронок отношение их ширины к глубине увеличивается. Наиболее широкие воронки имеют тенденцию к относительному «выполаживанию».

Карст на месторождении разновозрастный, по времени и интенсивности карстообразования выделены три группы карста.

К первой, наиболее поздней по возрасту группе, отнесены конусообразные и щелеобразные воронки. К среднему по возрасту карсту отнесены блюдцеобразные и чашеобразные. Карстовые проявления, относящиеся к этим двум периодам, существенного влияния на сложность геологического строения гипсовой толщи не оказывают, т.к. карстовые воронки в большинстве своем неглубокие, а мощность вскрышных отложений значительная.

К третьему, наиболее «древнему» периоду карстообразования, относится поверхностный закрытый тип карста, который развит только в кровле гипсовой толщи, перекрыт мощной толщей вскрышных пород и на дневной поверхности не фиксируется.

«Древний» карст оказывает существенное влияние на сложность геологического строения гипсовой толщи. Для этого типа карста характерны большие размеры воронок и их глубина, значительно превышающие размеры и глубину воронок открытого типа. Заполнены воронки разрушенным материалом пород вскрыши. В плане воронки овальные или округлые, в разрезе – конусовидные или близкие к этой форме; размер их в поперечнике от нескольких до 20-30 м, редко более (в 2018 г. на горизонте +150 м выявлена воронка размером в поперечнике 108 м), глубина от нескольких метров до 30-40 м.

Внутренний тип карста представлен карстовыми полостями трех типов – незаполненными, заполненными и смешанными. Смешанный тип представляет собой зону, в пределах которой вскрыты чередующиеся смежные заполненные и незаполненные полости.

Внутренний карст оказывает сильное влияние на сложность геологического строения гипсовой толщи Соколино-Саркаевского месторождения, что связано с безопасностью и осложнением ведения горных работ.

По положению в разрезе выделено 5 типов полостей (рис. 3) (Худеньких, 2019).

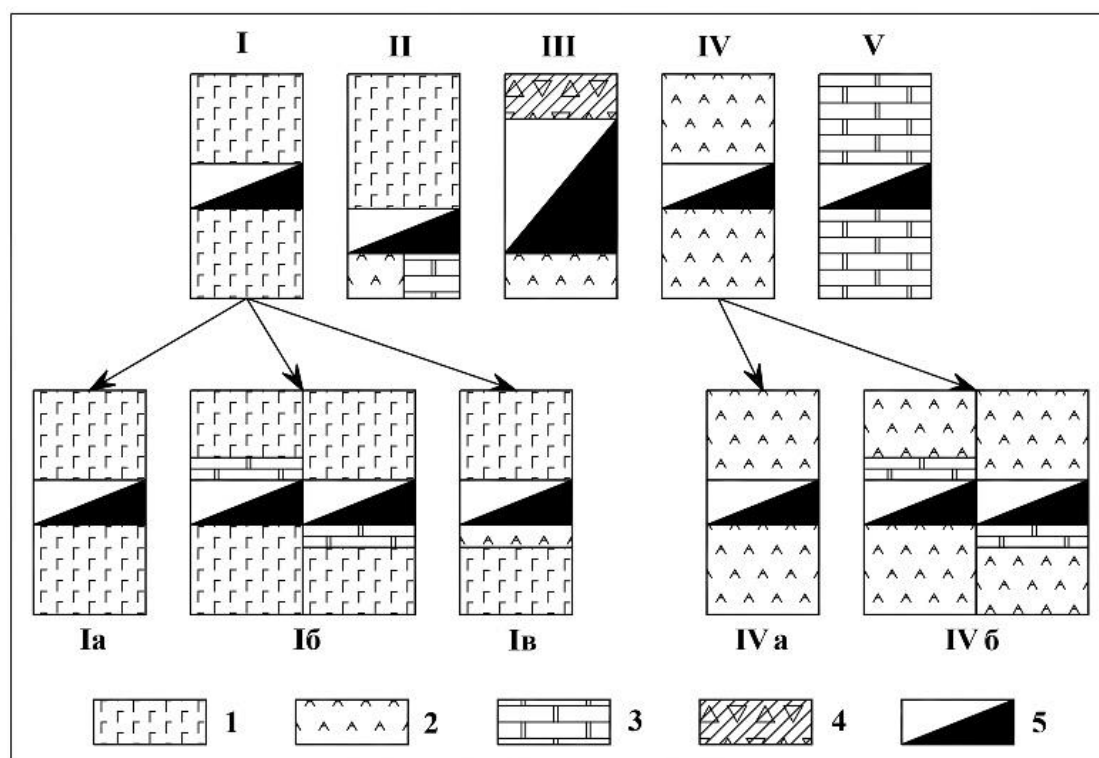


Рис. 2. Типы полостей по положению в разрезе: 1 – гипс; 2 – ангидрит; 3 – доломит; 4 – вскрышные породы; 5 – карстовые полости

Tun I. Полости залегают непосредственно в гипсовой толще. Этот тип подразделяется на 3 подтипа:

- *подтип Ia* – полость вскрыта в гипсовой толще;
- *подтип Ib* – полость вскрыта в гипсовой толще на контакте с доломитовым прослоем, который может находиться как в кровле, так и в подошве полости;
- *подтип Ic* – полость вскрыта в гипсовой толще на контакте с ангидритовым прослоем, который, как правило, находится в подошве полости.

Tun II. Полости залегают в подошве гипсовой толщи. В подошве полости могут быть ангидрит или доломит.

Tun III. К этому типу отнесены полости, развитые по всей мощности гипсовой толщи.

Tun IV. Полости залегают в толще ангидрита. Этот тип подразделен на 2 подтипа:

- *подтип IVa* – полость вскрыта в ангидритовой толще;
- *подтип IVб* – полость вскрыта в ангидритовой толще на контакте с доломитовым прослоем, который может находиться как в кровле, так и в подошве полости.

Tun V. Полости, образовавшиеся в карбонатных породах (в известняках и доломитах).

Типы полостей по положению в разрезе характеризуют интенсивность карстового процесса, его приуроченность к определенным геологическим условиям, загрязнение гипсового массива (при заполненных и смешанных полостях).

По вертикальному размеру карстовые полости можно разделить на пять типов: очень малые (до 1 м); малые (1-3 м); средние (3-5 м); крупные (5-10 м); очень крупные (более 10 м).

Вертикальный размер полостей характеризует в первую очередь продолжительность и интенсивность карстовых процессов.

На современном этапе карстовые процессы происходят лишь за счет поступления в массив инфильтрационных вод с земной поверхности. При этом чаще всего образуются вертикальные карстовые каналы в кровле гипсовой толщи, реже карстовые полости незначительных размеров. Наиболее интенсивно этот процесс происходит в период весеннего снеготаяния и осенью при значительном количестве дождевых осадков.

В результате карстовой активности как в прошлом, так и в настоящем, полезная толща Соколино-Саркаевского месторождения крайне не выдержана по мощности. Встречаются участки, на которых гипсовая часть лунежской пачки полностью размыта, и породы вскрыши залегают непосредственно на ангидрите.

Таким образом, Соколино-Саркаевское месторождение гипса и ангидрита по сложности геологического строения относится ко II группе согласно Классификации запасов и прогнозных ресурсов твердых полезных. Это подтверждается не только данными разведочных скважин, но и четко прослеживается при разработке месторождения. Так при добыче гипса на горизонте +150 м в период только 2012-2013 гг. вскрыто 74 погребенных карстовых воронки. При документации борта уступа горизонта +150 м четко прослеживается изменение мощности гипсов, в гипсе часто фиксируются линзы и прослой некондиционных пород (доломит, мергель, ангидрит).

Библиографический список

1. *Классификация* запасов и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых (утв. Приказом МПР РФ от 11 декабря 2006 г. №278).
2. *Худеньких К.О.* Особенности карста Соколино-Саркаевского месторождения // Известия Коми научного центра УрО РАН. Сыктывкар, 2019. №4(40). С. 50-54. DOI: 10.19110/1994-5655-2019-4-50-54.
3. *Худеньких К.О., Безматерных С.В.* Локализация линз ангидрита в промышленной толще гипса Соколино-Саркаевского месторождения // Геология и полезные ископаемые Западного Урала: сб. науч. ст. / под общ. ред. Р.Г. Ибламинова; Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2018. Вып. 1(38). С. 99-102.
4. *Худеньких К.О., Катаев В.Н.* Карстовый морфогенез в приповерхностной зоне сульфатно-карбонатного массива Соколино-Саркаевского месторождения гипса и ангидрита // Вестник Пермского университета. Геология. – Пермь: Издательский центр ПГНИУ, 2018. Том 17. №2 С. 171-176. DOI: 10.17072/psu.geol.17.2.171.

А.Г. Попов
ПГНИУ, p11p@mail.ru

ОБЛАСТЬ ВЛИЯНИЯ ПРОБЫ И ЕЕ ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ВЕРОЯТНОСТЬ

Дано определение пространственной вероятности и области влияния пробы. Выведена формула области влияния пробы по пространственной вероятности. Предлагается сфера применения этой формулы.

Ключевые слова: проба, область влияния, пространственная вероятность, геологическая разведка

A.G. Popov
Perm State University, p11p@mail.ru

AREA OF INFLUENCE OF THE ROCK SAMPLE AND ITS SPATIAL PROBABILITY

The definition of spatial probability and the area of influence of the rock sample is given. The formula of the region of influence of the rock sample in terms of spatial probability is derived.

Key words: rock sample, area of influence, spatial probability, geological exploration

В геологической разведке очень интересным вопросом остается вопрос об области или зоне влияния пробы. Подразумевается, что содержание полезного компонента пробы можно распространить на некоторое пространство. Это допущение лежит в основе интуитивного понимания области влияния пробы. Конкретное определение области влияния пробы никогда не давалось, однако это допущение широко используется в геостатистике и разведке месторождений. Оно непосредственно влияет на плотность разведочной сети месторождения. Однако в отечественной практики разведки плотность разведочной сети

определяется исключительно по методическим рекомендациями ГКЗ РФ. Нормативное определение разведочной сети зависит от вида полезного ископаемого, группы сложности месторождения и то, что до какой категории запасов необходимо разведать месторождение. Группа сложности месторождения определяется по коэффициентам вариации содержания и мощности полезной толщи разведываемого месторождения. Эта закономерность была установлена еще в начале XX века (Крейтер, 1937; 1940), а сейчас она нормативно закреплена.

В геостатистики закономерность распределения содержания определяется по вариограмме функции (Матерон, 1967; Давид, 1977; Девис, 1979):

$$f(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x) - Z(x+h)]^2, \quad (1)$$

где $f(h)$ – функция содержаний пар проб (2γ) на расстояние h друг от друга (расстояние является шагом распределения значений функции), $N(h)$ – количество сравниваемых пар значений с шагом h (при шаге h , $N = n-1$; при шаге $2h$, $N = n-2$; при шаге $3h$, $N = n-3$ и т.д.); $Z(x)$ – содержание в пробе, $Z(x+h)$ – содержание в пробе сравнения на расстоянии h . Значение h , отвечающее началу сглаживания графика является областью влияния пробы ($L_{вл.}$), (рис. 1).

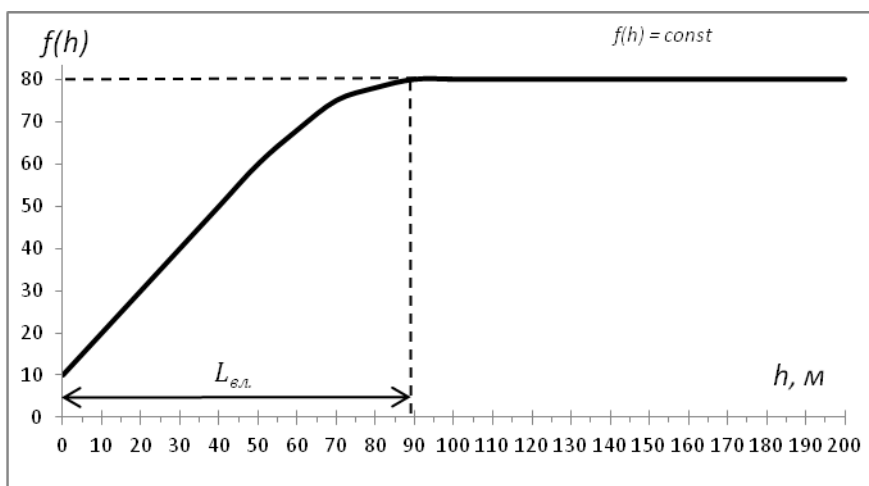


Рис. 4. Идеальная теоретическая транзитивная вариограмма, $L_{вл.}$ – область влияния пробы

По графику рисунка 1, при условии $f(h) = const$, область влияния пробы $L_{вл.} = 90$ м. Здесь и далее область влияния пробы рассматривается по линейной протяженности $L_{вл.}$, но естественно, что область влияния заключается в сфере или эллипсе со значениями влияния $L_{вл} = R_{вл.}$ для сферы и $L_{1вл.}$, $L_{2вл.}$ и $L_{3вл.}$ – для эллипса, в соответствии с его осями.

Условиями неприемлемости вариограммы являются:

1) ее нетранзитивность, т.е., когда график функции не выполаживается, $f(h) \neq const$, это наблюдается при чрезвычайной изменчивости содержаний на небольших расстояниях или при эффектах самородков (рис. 2);

2) стремление функции к нулю $f(h) \rightarrow 0$ (рис. 3), когда содержания по пробам почти одинаковы. Аппроксимацией функции может являться полином третьей степени.

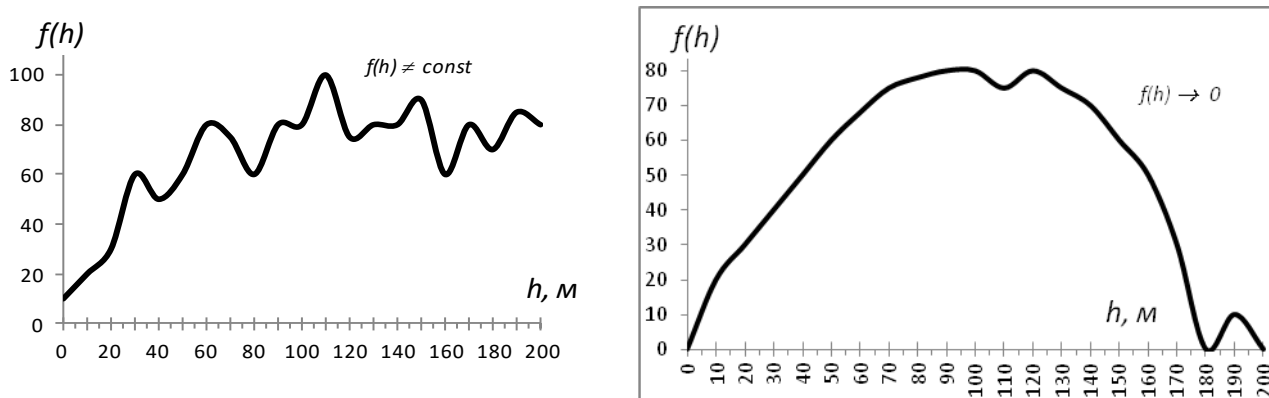


Рис. 2. Нетранзитивные вариограммы. Слева – при значительной изменчивости содержаний с эффектами самородков; справа при стремлении функции к нулю

Вариограмма строится только по уже установленной генеральной совокупности значений содержаний проб. Теорией распределения случайных величин в пространстве, в т.ч. и вариограммами, занимается молодая наука геостатистика. Геостатистика, как наука сформировалась во второй половине XX век, как наука о подсчете запасов полезных ископаемых с учетом распределения их в пространстве горных пород по законам математической статистики. Основоположник геостатистики французский геолог Жорж Матерон. Значительный вклад внесли геологи южноафриканской школы док. Дани Криге (Крайге) и североамериканские геологи док. Мишель Давид и Джон Девис. Закономерности, установленные геостатистикой, вошли в алгоритмы многих компьютерных программы ГГИС по подсчету запасов.

Отечественные геологи, так же уделяли внимание теории распределения полезного ископаемого в пространстве горных пород (Каждан, 1979; 1984; Четвериков, 1984; Шевелев, 2004; Мягков, 1985; Лебедев, 2017; Баранников, 2008; Баранников, Никулина, Хасанов, 2018). Однако, все эти изучения основаны на статистическом подходе к проблеме. Исключением являются исследования Г.В. Лебедева (2007), которые основаны на векторной алгебре пространства.

В 1950-х гг. XX века П.К. Соболевский и док. технических наук П.А. Рыжов вслед за Ферсманом при геометризации недр применили понятия геологического поля. А док. В.З. Пащенко в 1995 г. при объяснении распределения случайных величин в пространстве недр использовал теорию вероятности. Определение геометрической вероятности довольно простое. К примеру, есть площадь пространства S , состоящая из множества мелких областей s_i . На площадь S наугад ставится точка. Вероятность попадания этой точки в какую-либо i -область, пропорционально площади этой области:

$$p_i = \frac{s_i}{S}, (2)$$

где s_i – площадь i -области, S – площадь всего пространства, состоящая из i областей.

По закону, выраженной формулой (2) автор предлагает определение пространственного поля объекта и его пространственной вероятности.

Пространственное поле объекта – это пространство нахождения объекта с пространственной вероятностью p_p . Площадь (s_i), объем (v_i) или пространственная мера (r_i) этого объекта:

$$s_i = p_i \cdot S; v_i = p_i V; r_i = p_i R, (3)$$

где S , V и R – площадь, объем и мера пространства.

Пространственная вероятность (p_p) объекта – это отношение пространственной меры объекта к мере пространства, в котором находится объект:

$$p_p = \frac{r_i}{R}, (4)$$

где r_i – пространственная мера объекта, R – мера пространства.

На основе пространственной вероятности можно дать определение области влияния пробы.

Область влияния пробы – это пространство вокруг пробы, на которое можно распространить значение содержания этой пробы с пространственной вероятностью p_p .

Док. В.З. Пащенко предложил простую формулу расчета области влияния пробы по вариации содержания и допустимой погрешности значений содержаний:

$$L_{\text{вл.}} = 0,8 l_z \sqrt{\frac{\Delta_{\text{отн.}}}{V_c}}, (5)$$

где $L_{\text{вл.}}$ – область влияния пробы, l_z – один из размеров залежи или рудного тела месторождения, вдоль которого проектируется разведочная линия или протяженность месторождения, $\Delta_{\text{отн.}}$ – допустимая относительная погрешность среднего содержания, V_c – коэффициент вариации содержания.

Автор предлагает формулу расчета области влияния пробы через ее пространственную вероятность. Область влияние пробы отвечает количеству проб по протяженности или количеству пересечений по линии:

$$L_{\text{вл.}} = \frac{l_z}{n}, (6)$$

где n – количество проб или пересечений по линии.

Чем месторождение проще, тем меньше можно отобрать проб (сделать пересечений) и наоборот – чем сложнее месторождение, тем больше нужно отобрать проб. Принцип, сложности геологического строения месторождения, положенный в методики ГКЗ. Количество интервалов между пересечениями прямо пропорционально коэффициенту вариации содержания:

$$n_{\text{инт.}} = k_p V_c, (7)$$

где $n_{\text{инт.}}$ – количество интервалов между пробами или пересечениями, k_p – коэффициент пропорциональности или вероятность пространства вне области влияния пробы ($p_{\text{нвл.}}$), пустого пространства по линии между областями влияния

$$k_p = \frac{n_{\text{инт.}}}{V_c} = p_{\text{нвл.}} (8)$$

естественно

$$p_{\text{вл.}} = 1 - p_{\text{нвл.}}, p_{\text{нвл.}} = 1 - p_{\text{вл.}} (9)$$

где $p_{\text{вл.}}$ – вероятность пространства области влияния.

Из формул (6-9):

$$L_{\text{вл.}} = \frac{l_{\text{з.}}}{k_p V_c} = \frac{l_{\text{з.}}}{p_{\text{нвл.}} V_c} = \frac{l_{\text{з.}}}{(1 - p_{\text{вл.}}) V_c} \cdot (10)$$

Количество пересечений на линии: $n = n_{\text{инт.}} + 1$ и имеем формулу области влияния:

$$L_{\text{вл.}} = \frac{l_{\text{з.}}}{n} = \frac{l_{\text{з.}}}{n_{\text{инт.}} + 1} = \frac{l_{\text{з.}}}{(1 - p_{\text{нвл.}}) V_c + 1} = \frac{l_{\text{з.}}}{p_{\text{вл.}} V_c + 1} \cdot (11)$$

По формуле (11) расчета области влияния пробы не обязательно иметь совокупность содержаний и проведение утомительных статистических расчетов для получения вариограммы по формуле (1) и не обязательно придумывать допустимую относительную погрешность среднего содержания по формуле (5), которая, как правило, различная для классов содержаний. Условность применения формулы (11) является выбор пространственной вероятности области влияния. Это выбор остается за геологом. Так область влияния пробы при ее вероятности в 0,9 и в 0,5 различаются в 3-5 раз (табл. 1). Так по формуле (11), при высокой пространственной вероятности области влияния пробы в 0,9; низком коэффициенте вариации в 10% и протяженностью по простиранию предлагаемого месторождения в 500 м область влияния пробы составляет 250 м, – достаточно сделать 2 пересечения. При тех же условиях, но при пространственной вероятности области влияния пробы в 0,5 область влияния пробы составит 83 м и необходимо сделать 6 пересечений (табл. 1). Если область влияния пробы существует, то ее вероятность довольно высока.

Смысл пространственной вероятности области влияния пробы заключается в допущение, о котором говорилось выше. Чем более допускается возможность распределения значения содержания пробы на некоторое пространство, тем выше вероятность этого пространства и больше его значение. Если параметр протяженности залежи является протяженностью по простиранию, то область влияния отвечает расстоянию между разведочными линиями. Если параметр протяженности является шириной залежи, то – область влияния отвечает расстояниям между скважинами или горными выработками на линии.

К примеру, проектируется оценка (предварительная разведка) месторождения некоего рудного полезного ископаемого. Протяженность крутопадающей рудной зоны минерализации по простиранию составляет 1000 м, ширины по проекции на горизонт – 300 м, коэффициент вариации содержания полезного компонента по данным поисков составил 98% (2-я группа сложности геологического строения).

Принимаем пространственную вероятность области влияния пробы в 0,9 и тогда по формуле (11):

$L_{\text{вл.}} = 1000 : ((1-0,9) \times 98) + 1 = 1000/10,8 = 93 \text{ м} \approx 100 \text{ м}$ – расстояние между разведочными линиями;

$L_{вл.} = 300 : ((1-0,9) \times 98)+1) = 300/10,8 = 28 \text{ м} \approx 30 \text{ м}$ – расстояние между скважинами или горными выработками на линии.

Таблица. Область влияния пробы (пересечения) залежи протяженностью в 500 м при ее различной пространственной вероятности

Коэффициент вариации содержания (V_c), %	Пространственная вероятность области влияния пробы 0,9			Пространственная вероятность области влияния пробы 0,5		
	Количество		Область влияния пробы, пересечения ($L_{вл.} = l_3/n$), м	Количество		Область влияния пробы, пересечения ($L_{вл.} = l_3/n$), м
	интервалов между пересечениями ($n_{инт.} = p_{нвл.} V_c$)	пересечений ($n = n_{инт.} + 1$)		интервалов между пересечениями ($n_{инт.} = p_{нвл.} V_c$)	пересечений ($n = n_{инт.} + 1$)	
10	1	2	250	5	6	83
20	2	3	167	10	11	45
30	3	4	125	15	16	31
40	4	5	100	20	21	24
50	5	6	83	25	26	19
60	6	7	71	30	31	16
70	7	8	63	35	36	14
80	8	9	56	40	41	12
90	9	10	50	45	46	11
100	10	11	45	50	51	10
110	11	12	42	55	56	9
120	12	13	38	60	61	8
130	13	14	36	65	66	8
140	14	15	33	70	71	7
150	15	16	31	75	76	7
160	16	17	29	80	81	6
170	17	18	28	85	86	6
180	18	19	26	90	91	5
190	19	20	25	95	96	5
200	20	21	24	100	101	5

Разведочная сеть отвечает категории запасов C_1 , как для номинально разведанных запасов. По методическим рекомендациям ГКЗ для месторождений 2-й группы сложности и запасов категории C_1 расстояние между пересечениями рудных тел составляет от 40-80 до 120 м. Вполне можно проектировать сеть для категории C_1 – 100х30 м и для категории C_2 (разреженной в 2-4 раза) от 200х60 до 400х120 м.

Краткий вывод. Формула расчета области влияния пробы (11) применима при составлении проектов ГРП стадии поисков и оценки (предварительной разведки), для установления параметров разведочной сети, но с неременной ссылкой на методику ГКЗ.

Библиографический список.

1. Букринский В.А., Славоросов А.Х, ред. Рыжов П.А. Основоположник геометрии недр – П.К. Соболевский. М.: «Углетехиздат», 1954, 115 с.
2. Давид М. Геостатические методы при оценке запасов. (Пер. Ермолаева Л.Г. с изд. Нидерланды, 1977). Л.: «Недра», 1980, 360 с.
3. Девис Дж. Статистика и анализ геологических данных. (Пер. Голубевой В.А. с изд. John Willey & Sons, Inc, 1979). М.: «Мир», 1977, 572 с.
4. Крейтер В.М. Основные принципы классификации и подсчета запасов полезных ископаемых. М. – Л.: Изд-во АН СССР, 1937.
5. Крейтер В.М. Поиски и разведка полезных ископаемых. М.-Л.: «Гос. изд. геологической литературы», 1940, 490 с.
6. Матерон Ж. Основы прикладной геостатистики. (Пер. Рощина Ю.В с изд. Paris, 1967). М.: «Мир», 1968, 408 с.
7. Методические рекомендации по применению Классификации запасов и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых. ГКЗ РФ, 20007 - <http://gkz-rf.ru/>
8. Пащенко В.З. Математические основы разведки недр. М.: «Высшая школа», 1995, 111 с.
9. Рыжов П.А. Геометрия недр. М. – Л.: «Углетехиздат», 1952.
10. Рыжов П.А. Геометрия недр (третье изд.). М.: «Недра», 1964, 502 с. (<https://library.gorobr.ru/>).

ГЕОЛОГИЯ НЕФТИ И ГАЗА

С.Е. Башкова^{1,2}, Ю.А. Яковлев², А.Н. Башков³

¹ПГНИУ, sbashkova@mail.ru

²АО «КамНИИКИГС», yyakovlev@yandex.ru

³ПНИПУ, bashkov41@yandex.ru

О РЕЗУЛЬТАТАХ ИСПЫТАНИЯ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ СКВАЖИНЫ №1 БАЖЕНОВСКАЯ

В статье приведены некоторые результаты параметрического бурения в Елизаровском прогибе центральной части Фроловской мегавпадины Западно-Сибирской нефтегазодонной провинции. Дана краткая характеристика нефтегазодонности Фроловской НГО, описаны наиболее представительные месторождения на данной территории. Рассмотрены гидрогеологические этажи и основные газонефтеводоносные комплексы, выделенные в разрезе параметрической скважины. Представлены и проанализированы основные результаты испытания скважины. Сделаны выводы о геофильтрационных особенностях разреза скважины.

Ключевые слова: параметрическая скважина, Елизаровский прогиб, Западно-Сибирская нефтегазодонная провинция, объект испытаний, гидрогеологический этаж, газонефтеводоносный комплекс.

S.E.Bashkova^{1,2}, Y.A.Yakovlev², A.N.Bashkov³

¹ Perm State University, sbashkova@mail.ru

² АО «KamNIKIGS», yyakovlev@yandex.ru

³PNRPU, bashkov41@yandex.ru

ABOUT TEST RESULTS OF PARAMETRIC WELL №1 BAZHENOVSKAYA

The article presents some results of parametric drilling in the Elizarovsky deflection of the central part of the Frolov megawaddle of the West Siberian oil and gas province. A brief description of the oil and gas potential of the Frolov NGO is given, and the most representative deposits on this territory are described. Hydrogeological floors and the main gas-oil-bearing complexes identified in the section of a parametric well are considered. The main results of well testing are presented and analyzed. Conclusions are made about the geofiltration features of the well section.

Key words: parametric well, Elizarovsky deflection, West Siberian oil and gas province, test object, hydrogeological floor, gas and oil-bearing complex.

Фроловская нефтегазодонная область (НГО), расположенная в центральной части Западно-Сибирской нефтегазодонной провинции, является перспективным районом проведения поисково-разведочных работ. Здесь установлена промышленная нефтеносность, связанная с ниже- среднеюрским, неокомским, баженовским, аптским комплексами, открыто более 35 месторождений углеводородов, среди которых крупнейшие Краснотеннинское и Приобское. По величине разведанных запасов нефти Краснотеннинское месторождения относится к уникальным, в пределах которого выделяются 12 пластов с самостоятельными

залежами в различных нефтегазоносных комплексах. Крупными месторождениями с залежами в отложениях нижнего мела, нижней, средней и верхней юры являются Средненазымское, Рогожниковское, а также Галяновское, Северо-Селяировское, Емангальское. Небольшие месторождения Восточное Ляминское, Декабрьское, Апрельское с продуктивными пластами в юрских отложениях (тюменская свита, баженовская свита), готерив-барремских и реже палеозойском фундаменте. Залежи преимущественно пластовые сводовые, литологически и стратиграфически экранированные, связаны с ловушками структурно-литологического и стратиграфического типа. Нефти по своим физико-химическим свойствам относятся к высококачественным, содержат мало серы, смол, существенно обогащены бензиновыми фракциями, в групповом составе преобладают метановые углеводороды.

Параметрическая скважина №1 Баженовская глубиной 3202,8 м пробурена в 2019 году в наименее изученной южной части Елизаровского прогиба Фроловской НГО (рис.1), характеризующейся относительно небольшой глубиной залегания фундамента. Целевое назначение параметрической скважины - комплексное изучение геологического строения Баженовского научного полигона, а также оценка перспектив нефтегазоносности мезозойского осадочного чехла и зоны контакта с доюрскими отложениями.

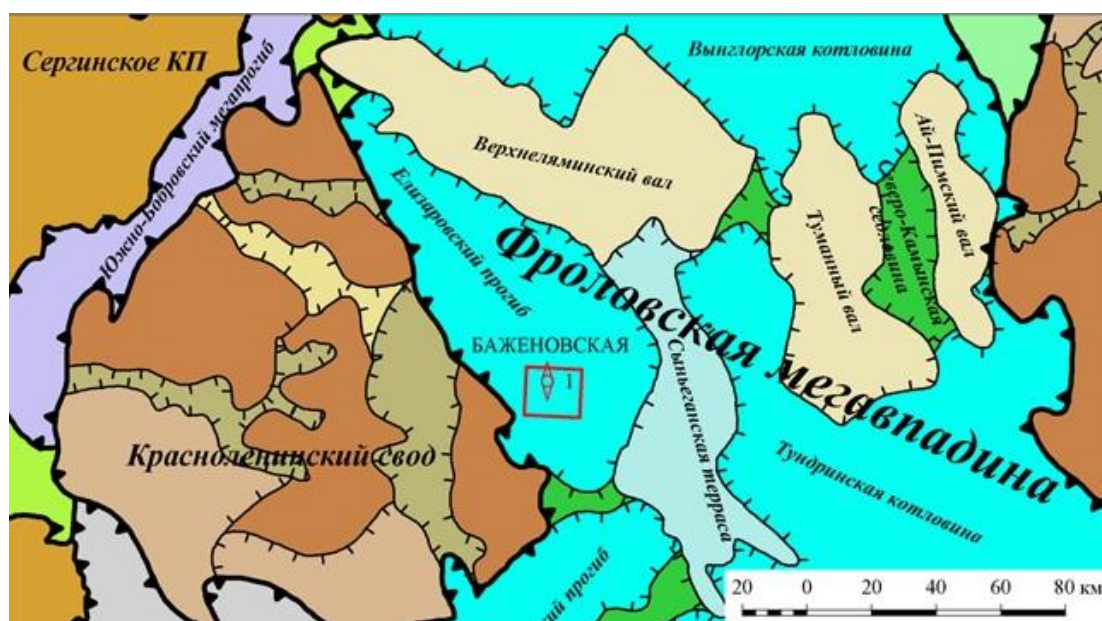


Рис.1. Фрагмент тектонической карты центральной части Западно-Сибирской НГП

В скважине выполнены испытания в открытом стволе в процессе бурения и в эксплуатационной колонне. В открытом стволе проведены исследования пяти объектов, практически все они оказались «сухими». По результатам испытания в эксплуатационной колонне в двух объектах получены незначительные притоки.

В соответствии с региональной гидрогеологической стратификацией Западно-Сибирского мегабассейна (Матусевич и др., 2005) во вскрытом разрезе параметрической скважины №1 Баженовская могут быть выделены шесть гидрогеологических комплексов: олигоцен-четвертичный, турон-олигоценый, аптальб-сеноманский, берриаско-барремско-аптский, юрский, триас-

палеозойский. Первые два водоносных комплекса относятся к *кайнозойскому гидрогеологическому этажу*.

Все нижележащие комплексы являются газонефтеводоносными и соответствуют *мезозойскому и палеозойскому гидрогеологическим этажам*.

При сравнительной характеристике результатов исследований параметрической скважины использованы данные, полученные при испытании поисково-разведочных скважин в Красноленинском, Казымском и Ляминском нефтегазовых районах.

Комплексы *кайнозойского гидрогеологического этажа* характеризуются повышенным водообменом. Испытания этих отложений в параметрической скважине не проводились. Прогнозные термодинамические характеристики этой части разреза представлены на пьезограмме (рис.2) и термограмме (рис.3).

Комплексы *мезозойского гидрогеологического этажа* входят в элизионную литостатическую систему западного мегаблока Западно-Сибирского мегабассейна (Матусевич и др., 2005). Они являются газонефтеводоносными и характеризуются весьма затрудненным водообменом.

Верхняя и средняя части разреза *апт-альб-сеноманского комплекса* представлена уватской и хантымансийской свитами. Установлено, что в этих интервалах расчетные поровые давления значительно превышают как условные гидростатические, так и пластовые давления, установленные в Красноленинском и Ляминском НГР (рис. 2). Характерно, что в интервале залегания отложений викуловской свиты поровые давления возрастают с глубиной линейно и лишь несколько превышают условные гидростатические. По данным ГИС температура в интервале залегания апт-альб-сеноманского комплекса составляет от 50 до 71 °С, что значительно ниже, чем температуры на этих же глубинах на площадях Красноленинского НГР (рис. 3).

Поровые давления в верхней части *берриаско-барремско-аптского газонефтеводоносного комплекса* (кошайская и верхняя часть фроловской свиты) имеют достаточно большой разброс значений с тенденцией к значительному возрастанию с глубиной (рис. 2). В интервале залегания отложений, относящихся к средней и нижней частям фроловской свиты, отмечается устойчивый рост давлений с глубиной. В верхней части тутлеймской свиты на пьезограмме выделяется поле разброса поровых давлений, значительно превышающих условное гидростатическое. Пластовое давление, замеренное на глубине 2519 м при испытании в колонне пласта Ю₂ (II объект) составило 26,77 МПа. Оно оценивается как невосстановленное, близкое к условному гидростатическому (рис. 2).

В данном комплексе выполнено гидродинамическое испытание отложений фроловской свиты в интервале 2138,6-2195,0 м (1 объект). Притока при испытании не получено. Интервал характеризуется как практически непроницаемый. Температура на глубине 2138,6 м соответствует 66,1 °С. По данным ГИС температура в интервале залегания комплекса составляет от 71 до 88 °С, что значительно ниже, чем температуры на этих же глубинах на площадях Красноленинского НГР, Казымовского и Ляминского НГР (рис. 3).

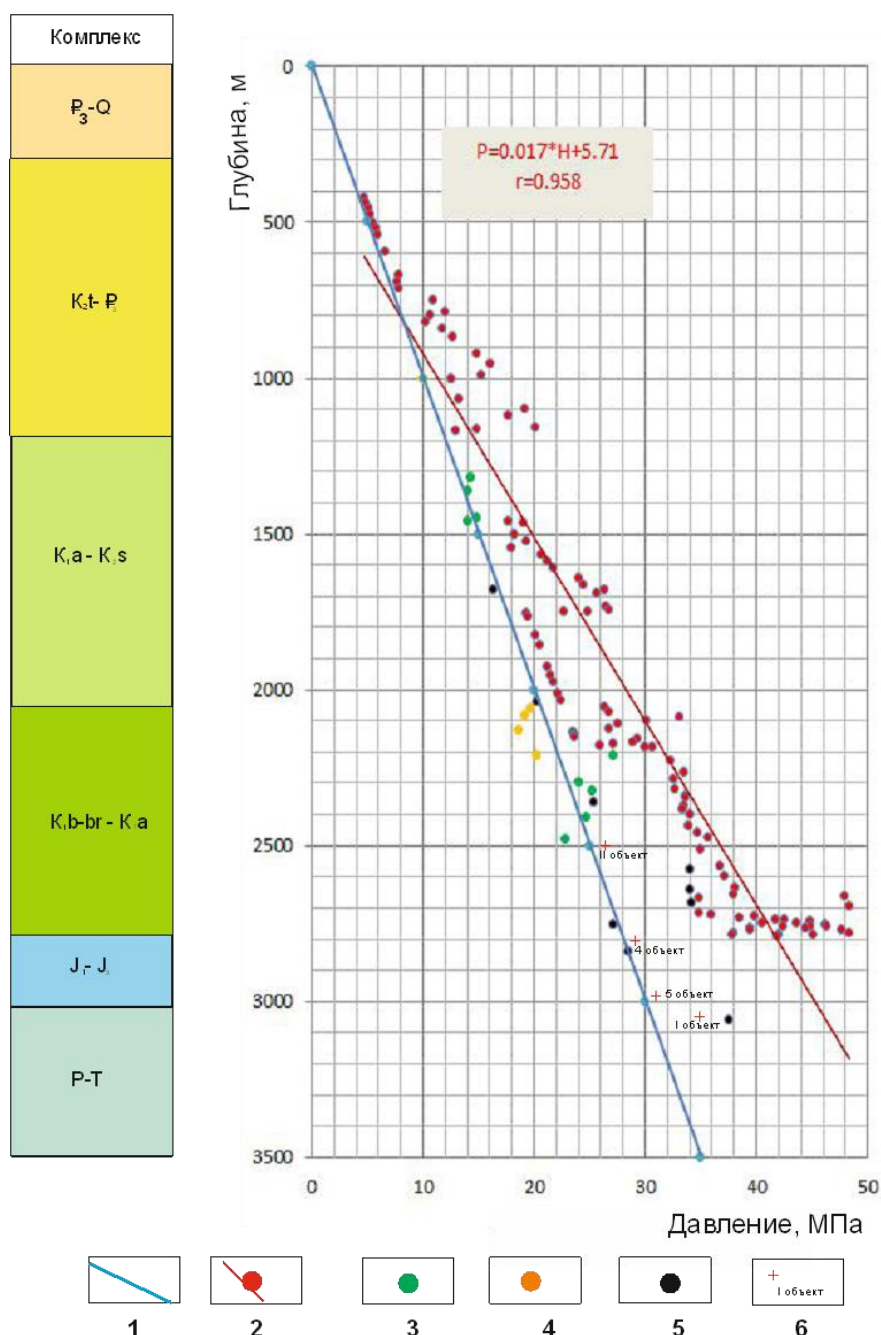


Рис. 2. Расчетные поровые давления в скважине №1 Баженовская в сопоставлении с данными по смежным НГР

Условные обозначения:

1 – линия нормального гидростатического давления; 2 – расчетные поровые давления в скважине №1 Баженовская (данные ОАО «НПЦ «Недра») и линия тренда; фактические замеренные давления: 3 – по Красноленинскому НГР; 4 – по Казымскому НГР; 5 – по Ляминскому НГР; 6 – пластовые давления по результатам испытания объектов

При гидродинамических испытаниях отложений тутлеймской свиты в интервале 2792,6-2817,0 м (объект 2) и совместно тутлеймской и абалакской свит в интервале 2792,6-2839,0 м (объект 3) притока пластовых флюидов не получено. Интервалы испытаний характеризуется как практически непроницаемые.

В юрском газонефтеводоносном комплексе при испытании тюменской свиты в интервале 2844,8-2895,0 м (объект 4) получена водо-нефтяная эмульсия и незначительный приток газа. Позже, при испытании в эксплуатационной колонне

получен приток нефти плотностью $0,870 \text{ г/см}^3$ с газом. Фактическое пластовое давление (28,8 МПа) близко к условному гидростатическому и характеризуется как не восстановленное (рис. 2).

Прогнозная температура в интервале залегания берриаско-барремско-аптского комплекса составляет от 88 до 93 °С, что несколько ниже, чем температуры на этих же глубинах на площадях Ляминского НГР (рис. 3). По данным испытаний тутлеймско-абалакских и тюменских отложений температура на глубине 2770,8 м составила 90,0 °С, а на глубине 2844,8 м – 94,9 °С.

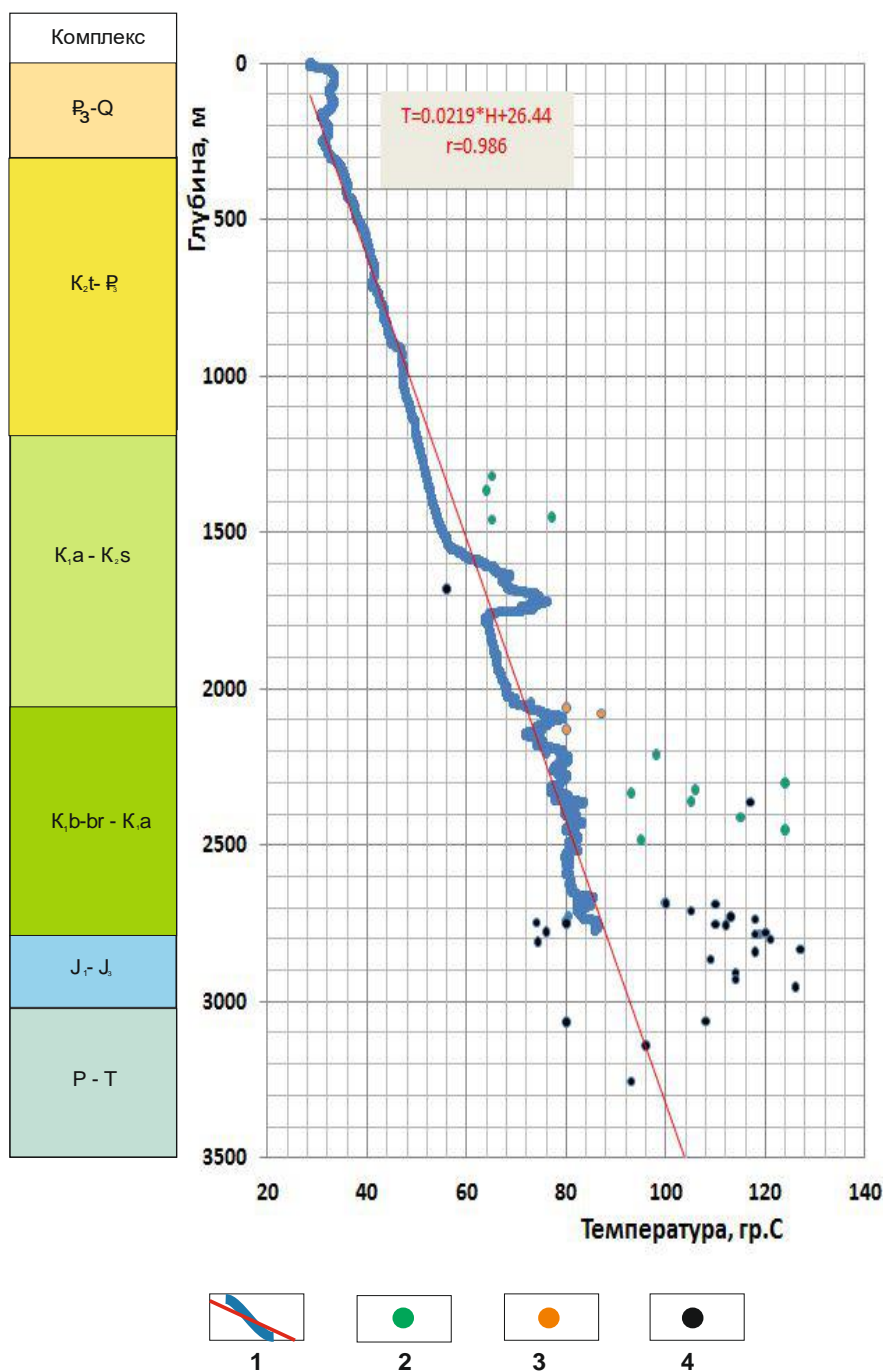


Рис. 3. Термограмма скважины №1 Баженовская в сопоставлении с данными по смежным НГР

Условные обозначения:

1 - термограмма скважины №1 Баженовская и линия тренда; температурные данные:
2 – по Красноленинскому НГР; 3 –по Казымскому НГР; 4 –по Ляминскому НГР

В палеозойском гидрогеологическом этаже (бассейне) параметрической скважиной вскрыт *триас-палеозойский газонефтеводоносный комплекс* (водоносная зона экзогенной трещиноватости), представленный породами коры выветривания триасового возраста и доюрской терригенно-вулканогенной толщей. В разрезе скважины комплекс залегает на глубине 3030 м, а мощность вскрытого разреза составляет 172,8 м. Вулканические породы представлены лавами риолитов и риодацитов, лавобрекчиями риолитов и туфами риолит-риодацитового состава. Терригенные породы представлены аргиллитами, алевролитами и песчаниками.

В процессе бурения скважины выполнено гидродинамическое испытание отложений тюменской свиты и коры выветривания доюрских отложений в интервале 2975,5-3048,0 м (объект 5). Объект испытания характеризуется как слабопроницаемый. Пластовое давление составило 31,3 МПа и оценивается как не восстановленное (рис. 2). При испытаниях получен фильтрат бурового раствора. По данным испытания 5 объекта температура на глубине 2975,5 м составила 98,9 °С.

При испытании в колонне доюрских отложений в интервале 3152-3177 м (объект I) из трещиноватых и кавернозных туфов получен приток пластовой воды с растворенным газом и пленкой нефти дебитом 4,11 – 4,55 м³/сут. По результатам промыслово-геофизических исследований эффективная мощность пласта составляет 3 м, приток воды наблюдался из интервалов 3158,0-3160,0 м и 3163,4-3164,4 м. Максимальное давление в конце регистрации КВД на глубине установки скважинного манометра 3129,6 м составило 35,29 МПа (рис. 2), а максимальное устьевое давление 4,57 МПа. Для снижения уровня в скважине и регистрации профиля притока на увеличенной депрессии выполнено свабирование. За восемь рейсов извлечено 8,0 м³ пластовой воды с пятнами УВ (нефть плотностью 0,876 г/см³), уровень снижен до глубины 760 м.

Объект испытания характеризуется как гидрогеологический проницаемый с признаками нефтяного насыщения и невысокими фильтрационно-емкостными свойствами. Из интервала перфорации прободоотборником ВПП-300 отобраны две качественные пробы пластовой воды плотностью 1,012 г/см³ с газовым фактором 2,00 м³/м³. Пробы имеют минерализацию 20,3-20,6 г/дм³ и по химическому составу являются рассолами хлоридно-натриевого состава, типичными для характеризуемого интервала разреза (Таблица 1).

В заключение следует отметить следующее.

1. Результаты комплексных исследований параметрической скважины №1 Баженовская соответствуют ранее установленным гидрогеологическим закономерностям вскрытого разреза региона (Гидрогеология СССР..., 1970; Матусевич и др., 2005; Абдрашитова Р.Н., 2012; Абдрашитова Р.Н. и др. 2015).

2. Геофильтрационные особенности разреза скважины №1 Баженовская проявились, главным образом, в отсутствии водопритоков в основных газонефтеводоносных комплексах: подавляющее большинство испытаний выявили «сухие» объекты. В связи с этим, большинство мезозойских комплексов не могут рассматриваться в качестве региональных проводящих систем.

Таблица 1. Состав пластовой воды из интервала коры выветривания доюрских отложений параметрической скважины №1 Баженовская

Глубина отбора, м	Минерализация, $\frac{\text{г}}{\text{дм}^3}$ плотность, $\text{г}/\text{см}^3$	pH	Содержание					
			$\frac{\text{мг}}{\text{дм}^3}$ $\frac{\text{мг-экв.}}{\text{дм}^3}$ % экв.					
ВПП-300 на 3152	$\frac{20.3}{1.012}$	6.8	Cl^-	SO_4^{2-}	HCO_3^{2-}	Сумма Na^+ и K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}
			11000	56	1510	7632.7	76	7.0
			310.3	1.17	24.75	331.86	3.79	0.58
			92.29	0.35	7.36	98.70	1.13	0.17
на устье скважины при фонтанировании	$\frac{20.6}{1.012}$	6.9	11000	47	1770	7724.6	75	8.6
			310.30	0.98	29.02	335.9	3.74	0.71
			91.19	0.29	8.53	98.70	1.10	0.21

3. Для элизионной литостатической системы западного мегаблока характерным являются повышенные пластовые давления относительно условно гидростатических. В этих условиях вполне вероятным представляется формирование весьма замедленного нестационарного субвертикального флюидообмена с кратковременным проявлением пульсационно-флюидотермодинамического режима (Дюнин и др, 2005).

4. Впервые для разреза Елизаровского прогиба исследован химический состав пластовых вод коры выветривания доюрских отложений. Результаты опробования могут быть использованы при выполнении специализированных палеогидрогеологических исследованиях региона.

5. Для дальнейшего изучения и оценки нефтегазоносности перспективными объектами являются тюменская свита и триас-палеозойский комплекс.

Библиографический список

1. Абдраштова Р.Н. Формирование подземных вод Красноленинского нефтеносного бассейна Западно-Сибирского мегабассейна. Автореферат на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук. Тюмень, 2012.
2. Абдраштова Р.Н., Куликов Ю.А., Акжанов Р.С. Формирование подземных вод в условиях элизионной водонапорной системы Западно-Сибирского мегабассейна // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. -2015.- №4. С.6-11.
3. Гидрогеология СССР, том XVI, Западно-Сибирская равнина (Тюменская, Омская, Новосибирская и Томская области). М. Недра, 1970.- 368 с.
4. Дюнин В.И , Корзун В.И. Гидрогеодинамика нефтегазовых бассейнов. М.: Научный мир, 2005. -524 с.
5. Матусевич В.М., Рыльков А.В., Ушатинский И.Н. Геофлюидалные системы и проблемы нефтегазоносности Западно-Сибирского мегабассейна.- Тюмень: ТюмГНГУ, 2005. – 225 с.

О ПЕРСПЕКТИВАХ НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ ЮГО-ВОСТОКА ПЕРМСКОГО КРАЯ И СВЕРДЛОВСКОЙ ОБЛАСТИ

В статье обобщены результаты изучения перспектив нефтегазоносности осадочных отложений юго-востока Пермского края и сопредельной территории Свердловской области. На основе результатов бассейнового моделирования и геолого-геохимических исследований основных НГМП сделано заключение о повышенных перспективах газоносности Юрюзано-Сылвинской впадины при возможном развитии нефтеносности в зонах пониженной активности надвиговых дислокаций.

Ключевые слова: нефтематеринская порода, катагенез, генерация, залежь, Юрюзано-Сылвенская впадина, Уткинско-Серебрянская система впадин, глубокие скважины.

A.S. Kapitanova¹, T.V. Karaseva^{1,2}

¹ JSC «KamNIKIGS», Perm, kapitan19.95@mail.ru

² Perm State University, tvkaras@psu.ru

ON THE PETROLEUM PROSPECTS OF THE SOUTH-EAST PERM REGION AND SVERDLOVSK REGION

The article summarizes results of studying prospects of oil and gas sedimentary deposits in the south-east of Perm region and boundary territory of Sverdlovsk Region. the conclusion was made about increased prospects of gas in the Yuryuzan-Sylvinsk depression based on the results of basin modeling and geological and geochemical studies of main oil and gas fields with the possible development of oil potential in areas with reduced activity of thrust dislocations.

Key words: source rock, catagenesis, generation, reservoir, Yuryuzano-Sylvan depression, Utkino-Serebryanskaya depression system, deep wells.

На юго-востоке Пермского края и в Свердловской области изученность осадочного чехла геолого-геофизическими методами и бурением крайне неравномерная. Основная доля открытых залежей связана с доманикитами Камско-Кинельской системы впадин и залегает на глубине до 2100 м в коллекторах башкирского и визейского ярусов (Сухореченское, Зуятское, Бруснянское месторождения и др.). Восточнее в Юрюзано-Сылвенской впадине открыта немногочисленная группа газовых и газоконденсатных месторождений преимущественно с высокоамплитудными принадвиговыми залежами в визейских, башкирских и нижнепермских отложениях (Марковское, Кордонское, Бухаровское и др.). Некоторые исследователи к потенциально конденсато-газоносному району в этой области относят нижележащий верхнедевонско-турнейский карбонатный комплекс (4,5) но залежи восточнее Дороховского месторождения, в нем пока не обнаружены. Основная часть осадочного чехла мощностью до 7000 м и более по геофизическим данным на востоке Юрюзано-Сылвенской впадины за исключением участков Кедровского и Бухаровского месторождений

не освоена нефтегазодобывающей промышленностью (рис.1.). На Бухаровском газоконденсатном месторождении одна из самых глубоких залежей Среднеуральской НГО (около 2800 м) приурочена к башкирскому ярусу, на Кедровском газоконденсатном месторождении продуктивны окские (около 2100 м), башкирские, артинские отложения.

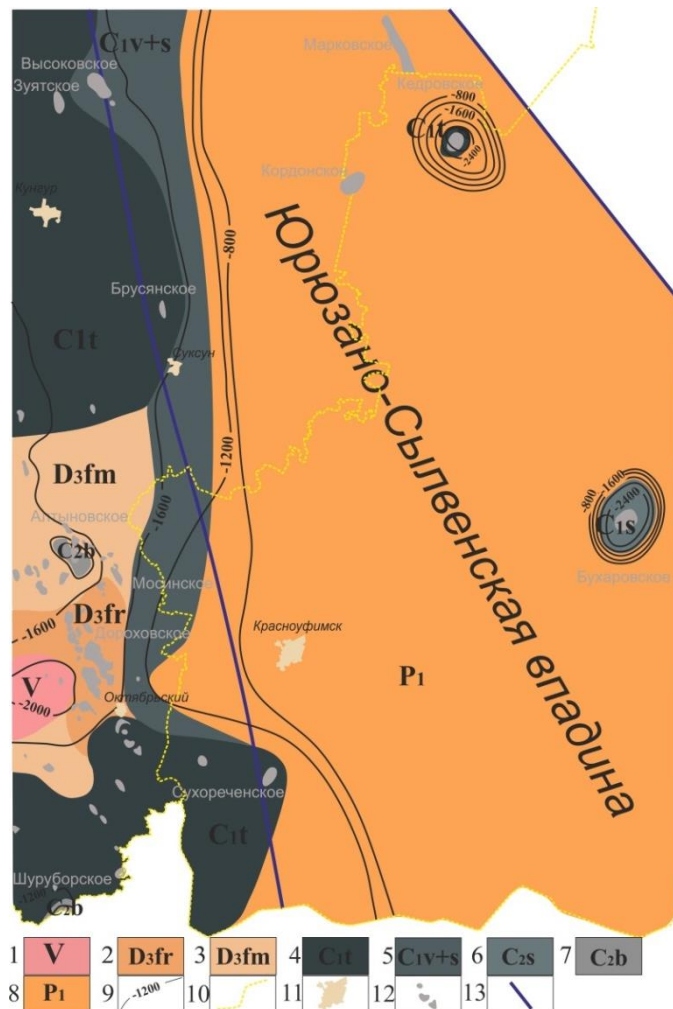


Рис. 1. Геологическая карта осадочных отложений неосвоенных нефтегазодобывающей промышленностью на юго-востоке Пермского края и европейской части Свердловской области. Масштаб 1:750000 (условные обозначения: 1–отложения венда, 2–отложения франского яруса, 3–отложения фаменского яруса, 4–отложения турнейского яруса, 5–визейско-серпуховские отложения, 6–отложения серпуховского яруса, 7–отложения башкирского яруса, 8–отложения нижней перми, 9– изогипсы поверхности отложений неосвоенных нефтегазодобывающей промышленностью, 10–административные границы, 11– города, административные центры, 12–месторождения УВ, 13–границы Юрюзано-Сылвенской впадины)

На этой малоизученной территории в строении верхнедевонско-турнейского палеошельфа выделяются прогибы и впадины с депрессионным типом разреза, благоприятным для формирования нефтематеринских пород: Лысьвенский, Сосновский прогибы и Уткинско-Серебрянская система впадин. (7) Исследования прошлых лет показывают, что в Уткинско-Серебрянской системе впадин нефтематеринские породы франского возраста залегают на глубинах около 2400-3580 м, содержание ОВ изменяется от 1 до 2,1 %, $B_{\text{хл}}$ – 0,06-0,3 %. Разрез карбонатного девона представлен глинисто-карбонатно-кремнистыми разно-

стями пород, накапливающимися в условиях глубоководного шельфа. (2) Интерпретация результатов бассейнового моделирования разрезов скважин Ачитской, Бухаровской, Зуятской, Марковской площадей подтверждает благоприятные палеотемпературные условия в толще основных НГМП для генерации не только жидких УВ, но и газообразных. Доманиковые отложения впервые достигли градации катагенеза МК₁ ($R^0=0,5\%$) на рубеже поздний карбон-ранняя пермь. Во время накопления большой мощности нижнепермского флишевого комплекса доманиковые отложения продолжали погружаться, прогреваясь до температуры 95-165 °С, частично или полностью вступая в ГЗГ.

Выше по разрезу на рассматриваемой территории залегают отложения верхнефранских конусов выноса и фаменско-турнейских клиноформ с повышенными фильтрационно-емкостными свойствами. (3,6) Развитие природных резервуаров подтверждается результатами бурения и исследования керна скважин, пробуренных в Западно-Уральской складчато-надвиговой зоне. Так, в параметрической скважине 547 профиля Калино-Усьва получен непромышленный приток нефти из турнейского яруса дебитом 0,55 т/сут, скважина 82 профиля Калино-Усьва вскрыла битуминозно-кремнистую пачку известняков верхнего девона, из турнейского яруса был получен непромышленный приток нефти с дебитом 0,4 т/сут. В параметрической скважине 555 Марковского профиля, вскрывшей вендский комплекс, получен слабый приток газа из бобриковско-турнейского интервала. Во франско-турнейских карбонатных отложениях Аракаевской параметрической скважины 1 по результатам детальных геохимических и петрографических исследований выявлена массивная палеозалежь нефти, разрушенная в результате надвиговых процессов (1), при этом основной шов надвига проходил по доманикитам. В этих же отложениях установлены интенсивные газопроявления на глубинах около 2900-3100 м, по составу УВ идентичны газам Кедровского и Бухаровского месторождений ($CH_4 > 87\%$).

Таким образом, в пределах Юрюзано-Сылвенской впадины также как в других районах севера Урало-Поволжья создавались благоприятные условия для генерации УВ в доманиковых отложениях. Отличительными факторами являются большая амплитуда прогибания фундамента и соответственно погружения основных НГМП в раннепермское время, что приводило к более высокой катагенетической преобразованности ОВ и более высокой вероятности обнаружения залежей газов и газоконденсатов, а также возможность проявления в основном в восточных районах надвиговых дислокаций. При этом в зонах с пониженной активностью дислокаций сохраняется возможность открытия нефтяных залежей.

Библиографический список

1. Аникиенко О.М., Карасева Т.В., Хопта И.С. Результаты изучения битумов в разрезе параметрической скважины // Вестник Пермского университета, 2013, вып.2(19). С. 79-87.
2. Белоконь Т.В., Гецен Н.Г., Катаева Т.А и др. Перспективы нефтегазоносности севера Урало-Поволжья по данным геохимии доманикитов // Геология нефти и газа, №3, 1990. С. 20-23.
3. Ерломолова Т.Е. Седиментационные модели девонско-нижнекаменноугольных отложений Юрюзано-Сылвенской впадины // Материалы VII Всероссийского литологического совещания, ВНИГНИ, Москва, 2013. С. 294-296.

4. *Карасева Т.В., Сиротенко О.И., Сиротенко Л.В.* Предуральский прогиб и складчато-надвиговые зоны – первоочередной объект развития геолого-разведочных работ на нефть и газ // Стратегия развития минерально-сырьевого комплекса Приволжского и Южного федеральных округов на 2009 и последующие годы: Программа и тезисы докл. научно-практической конференции (14-18 апреля 2008 г.). Саратов, 2008. С. 44-47.
5. *Проворов В.М.* Геологическое строение Сылвенской впадины в связи с ее нефтегазоносностью: Автореф. ... канд. геол.-минер. наук. Пермь, 1970, 15 с.
6. *Фортулатова Н.К.* Седиментологическое моделирование карбонатных осадочных комплексов. М.: Изд-во НИИ-Природа, 2000, 117 с.
7. *Шихов С.А., Каракулов В.А.* Районирование территории Юрюзано-Сылвенской впадины по типу разреза верхнедевонско-нижнекаменноугольных отложений // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология, нефтегазовое и горное дело, 2004. С. 112-118.

В.П. Красильников
ПГНИУ, trait969@gmail.com

О СТРОЕНИИ И НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ НАДВИГОВЫХ ЗОН УРАЛА

Для экономики России углеводороды являются одним из первостепенных финансовых активов. По данным 2019 года нефтегазовые доходы РФ составили порядка 46% от всех доходов федерального бюджета. Однако эксплуатируемые в данный момент месторождения нефти и газа имеют тенденцию к истощению, тем самым создавая необходимость поиска новых, перспективных для разработки залежей углеводородов. Волго-Уральская нефтегазоносная провинция является одним из приоритетных регионов по нефтедобыче, однако перспективы открытия новых крупных месторождений углеводородов на севере ее платформенной части все более сокращаются, тем самым повышая актуальность развития геологоразведочных работ в восточных районах Предуральского прогиба и Западно-Уральской зоны складчатости.

Ключевые слова: Предуральский прогиб, складчатость, надвиг, нефть, газ, углеводороды, Волго-Уральская нефтегазоносная провинция

V. P. Krasilnikov
Perm State University, trait969@gmail.com

ON THE STRUCTURE AND OIL AND GAS POTENTIAL OF THE THRUST ZONES OF THE URALS

For the Russian economy, hydrocarbons are one of the primary financial assets. According to 2019 data, oil and gas revenues of the Russian Federation accounted for about 46% of all Federal budget revenues. However, currently exploited oil and gas fields tend to Deplete, thus creating the need to search for new, promising hydrocarbon deposits for development. The Volga-Ural oil and gas province is one of the priority regions for oil production, but the prospects for the discovery of new large hydrocarbon deposits in the North of its platform part are increasingly reduced, thereby increasing the relevance of the development of exploration in the Eastern regions of the pre-Ural deflection and the West Ural folding zone.

Key word: Pre-Ural deflection, folding, overshoot, oil, gas, hydrocarbons, Volga-Ural oil and gas province

Волго-Уральская нефтегазоносная провинция (НГП) является одной из старейших в России. Первое месторождение нефти на ее территории было открыто в 1929 в Верхнечусовских городках, а к 1982 году количество месторождений составляло порядка 920. Большинство из данных месторождений эксплуатируются и в настоящее время, что свидетельствует о высоком нефтегазоносном потенциале территории. Однако еще в начала 70-х годов Проворовым В.М. были отмечены первые симптомы снижения эффективности нефтепоисковых работ и, как следствие, возникновение угрозы спада уровня добычи нефти и газа из-за постепенного истощения существующих месторождений (Проворов, 1994). На сегодняшний момент перспективы потенциального открытия новых крупных промышленных залежей углеводородов (УВ) в платформенной части севера Волго-Уральской НГП все более сокращаются. Таким образом повышается актуальность развития геологоразведочных работ в восточных районах Предуральяского прогиба и Западно-Уральской зоне складчатости (рис.1).

Рис.1 Предуральский краевой прогиб

Долгое время считалось что надвиговые зоны являются территориями с низкой перспективностью нефтегазоносности. О сложности поиска месторождений нефти и газа в подобных областях свидетельствуют длительные геологоразведочные работы в надвиговых областях Скалистых гор. По результатам многочисленных поисковых работ, длившихся с 1924 по 1975, данная территория считалась бесперспективной для обнаружения промышленных залежей углеводородов, так как ни одна из более пятисот пробуренных скважин не дала результатов в обнаружении месторождений нефти и газа. Лишь в 1975 г, с открытием месторождения Пайнвью появились первые свидетельства о возможности обнаружения перспективных залежей в данном регионе, что в дальнейшем дало новый толчок к тщательным геологоразведочным работам, которые в течении пяти лет позволили открыть уже 12 крупных, промышленно перспективных месторождений нефти и газа, приуроченных к мезозойским и палеозойским отложениям с общими запасами нефти 5 млрд. тонн (Соборнов, 2014; Фархутдинов Фархутдинов, 2011). Отмечается сходство надвиговых областей Скалистых гор со структурами Предуральяского прогиба и западного склона Урала. Так, например, в Аппалачской складчатой области как и на Урале прослеживается погружение допалеозойского фундамента в сторону складчатой области, а так-

же надвиги структурно-формационных зон одна на другую, с формированием серии крупных шарьяжей, перемещенных к западу (Камалетдинов, 1974).

В настоящее время общая изученность восточных районов Предуральяского прогиба и Западно-Уральской зоны складчатости остается на достаточно низком уровне, однако имеются данные о нефтегазопроявлениях и залежах и даже крупных, например, Вуктыльское нефтегазоконденсатное месторождение в Верхнепечорской впадине. В этом плане представляет интерес Юрюзано-Сылвенская депрессия (ЮСД) и прилегающие восточные районы. ЮСД находится в Юрюзано-Сылвенском нефтегазоносном районе Среднепредуральской нефтегазоносной области. Основная существующая промышленная нефтегазоносность выявлена в районах вне надвиговых дислокаций в отложениях среднего и верхнего карбона и нижней перми. Данные отложения формируют единый регионально развитый нефтегазоносный комплекс, в основном характеризующийся рифогенными породами (Снитко, Гай, Дресвянникова, 2017; Чернова, 2008). Юрюзано-Сылвенский НГР в северной части ЮСД представлен Копальнинской и Брусянско-Дуванской зонами нефтегазонакопления. В Копальнинской зоне открыты Луживское, Копальнинское, Селинское, Верхнечусовское месторождения. В Брусянско-Дуванской зоне – Высоковское и Лысьвенское (рис.2) (Проворов, Проворов, Неганов, 2008).

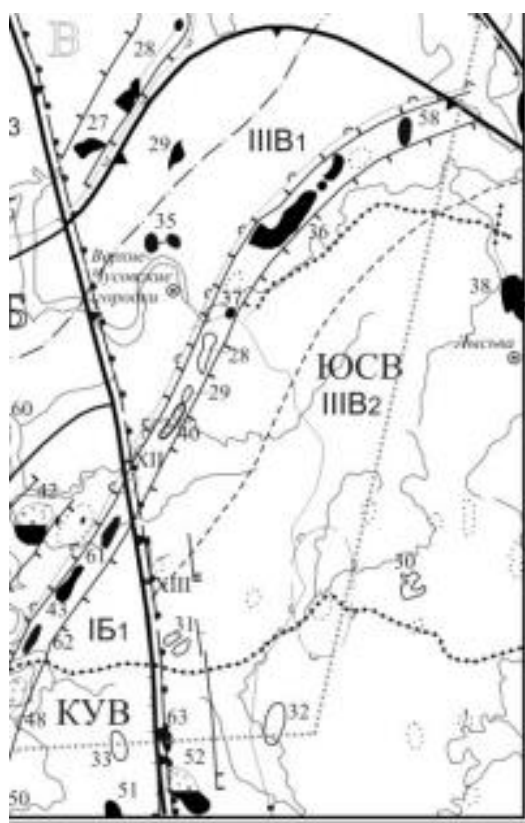


Рис.2 Схема нефтегеологического районирования центральных районов Пермского края
Нефтегазоносные зоны: IIIВ₁ - Копальнинская, IIIВ₂ - Брусянско-Дуванская
Месторождения нефти: 29 - Луживское, 35 - Верхнечусовское, 36 - Копальнинское,
37 - Селинское, 38 - Лысьвенское

На территории района встречаются нефти высоких качественных характеристик (легкие, малосернистые), что повышает интерес проведения дополнительных ГРП на данной территории, с целью нахождения новых залежей высококачественных углеводородов. В таблице представлены основные характеристики нефтей (Снитко, Гай, Дресвянникова, 2017).

Таблица Характеристика нефтей Юрюзано-Сылвенской депрессии

Месторождение	Пл-сть (г/см ³)	Вяз-сть (мПа*с)	Сера (%)	Парафины (%)	Смолы и асфальтены (%)	Пластовая температура (°C)
Луживское	0,765	1	0,60	1,40	2,06	32
Копальнинское	0,899	-	1,89	1,25	8,15	23
Верхнечусовское	0,831	1,07	0,13	8,52	5,80	36
Селинское	0,915	4,95	1,95	1,56	37,92	23
Лысьвенское	0,880	1	2,49	1,69	6,01	23

На территории Юрюзано-Сылвенской депрессии зафиксирован ряд надвигов, таких как: Тастубский, Метелинский, Метелинский Встречный, Алегазовский, Яныбаевский, Яныбаевский Встречный, Муслюмовский, Таймеевско-Емашинский, Мечетлинский и другие. Фронтальные части данных надвигов включают в себя антиклинали, в виде структурных валов с присутствием залежей углеводородов в некоторых из них. Фронтальные антиклинали характеризуются наличием крутых принадвиговых крыльев и пологих противоположенных, вследствие чего присутствует смещение сводов складок с глубиной в сторону пологого крыла. Таким образом, как следствие месторождения углеводородов на территории Юрюзано-Сылвенской депрессии, а также потенциально перспективные на их поиски структуры располагаются во фронтальных антиклиналях, тянущихся вдоль линий надвигов. Зоны повышенной трещиноватости, способные выполнять роль коллекторов и ловушек углеводородного сырья, располагаются в принадвиговой части, в зоне максимального перегиба слоев и, порой, на крыльях складки. Локализация месторождений нефти и газа контролируется структурным фактором, что характеризует картирование антиклинальных складок вдоль региональных надвигов с поиском в них зон повышенной трещиноватости, считающимся важным направлением поисков месторождений углеводородов (Фархутдинов, 2010; Фархутдинов, Фархутдинов, 2011).

Геологические исследования в районах со сложным строением, коими являются складчато-надвиговые области, сопряжена с определенными трудностями, и применение базовых и стандартных процедур геологоразведочных работ чревато получением результатов с достаточной степенью субъективности. Для получения высоких показателей достоверности работы в подобных районах, необходимо иметь представление не только о структуре и формационных комплексах, но и учитывать аспекты исторического развития, такие как палеотектоника и палеогеография. Одним из таких эффективных инструментов можно считать палинспастические реконструкции, подразумевающие восстановление тектонической и палеогеографической обстановки, до момента формирования складчатости, тем самым приводящие территорию к её исходному состоянию (Юдин, 1994).

Об определенной эффективности данных методик можно говорить на примере исследований относительно недавно пробуренной (2012 г.) Аракаевской параметрической скважины (рис.3) в Шалинском районе. В ходе исследований по данным палинспастических реконструкций в нижнекаменноугольных отложениях над доманикитами Уткинско-Серебрянской впадины была выявлена разрушенная надвиговыми процессами крупная залежь нефти, сформировавшаяся еще до проявления дислокаций (Карасева, 2014). В вышележащих отложениях установлены промышленные газопроявления.

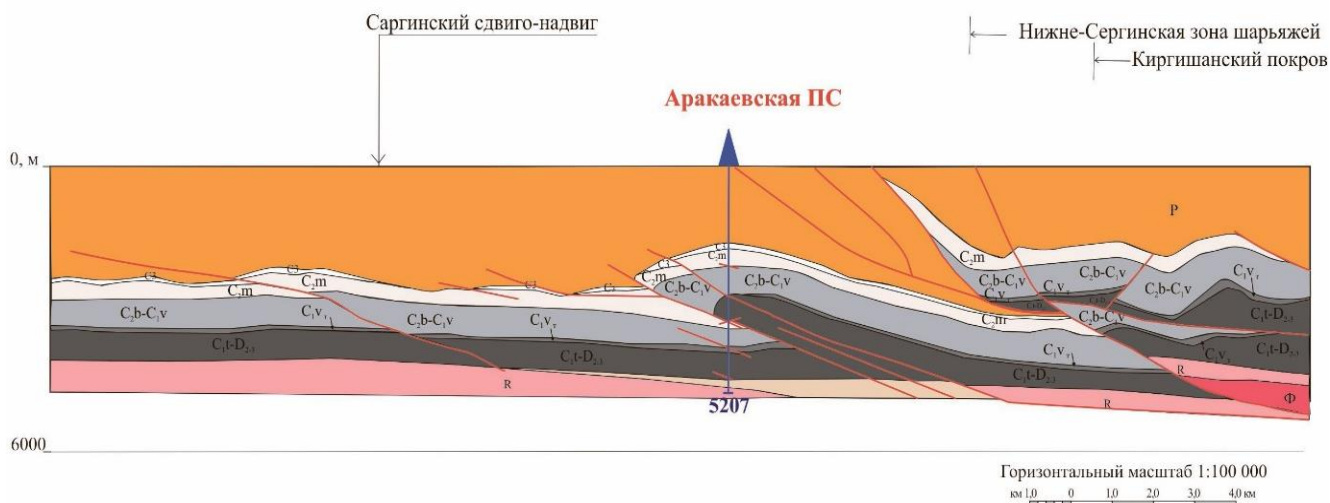


Рис.3 Геологический профиль через Аракаевскую скважину
(по данным Баженовской экспедиции, 2012)

Таким образом, развитие работ по изучению геологического строения и истории формирования слабоизученных складчато-надвиговых зон будет способствовать более объективному прогнозу нефтегазоносности.

Библиографический список:

1. Камалетдинов М.А. Покровные структуры Урала. - М.: Наука, 1974. – 230 с.
2. Карасева Т.В., Аникеенко О.М., Горбачев В.И. Новые данные о формировании нефтегазоносности в Западно-Уральской зоне складчатости // Нефтяное хозяйство. 2014. №10. С. 86-88.
3. Проворов В.М. Тектоно-седиментационные особенности северных и западных районов Волго-Уральской нефтегазоносной провинции: автореф. дис. док. геолого-минералогических наук. Пермь, 1994. 59 с.
4. Проворов В.М., Проворов М.В., Неганов В.М. Нефтегазогеологическое районирование центральных районов Пермского края в связи с дальнейшим освоением ресурсов нефти и газа // Вестник Пермского университета. Геология. Пермь: Изд-во ПГУ, 2008. Вып. 10(26). Стр. 12.
5. Снитко Г.П., Гай В.В., Дресвянникова Н.Ф. Государственная геологическая карта РФ масштаба 1 : 200 000 Издание второе Серия Пермская Лист О-40-XVI (Лысьва) Объяснительная записка Москва, московский филиал ФГБУ «ВСЕГЕИ» • 2017. Стр. 70-73.
6. Соборнов К.О. Возможности наращивания ресурсной базы газодобычи в складчатых поясах России // Вести газовой науки. 2014. №3(19). С. 56-61
7. Фархутдинов И.М. Поиски месторождений углеводородов в поднадвиговых отложениях Башкирского мегантиклинория Южного Урала // Геология, полезные ископаемые и проблемы геоэкологии Башкортостана, Урала и сопредельных территорий: мат-лы VIII Межрегиональной науч.-практич. конференции - Уфа, 2010. - С. 177-179.

8. *Фархутдинов И.М., Фархутдинов А.М.* О перспективах нефтегазоносности Юрюзано-Сылвенской депрессии Предуральяского прогиба //Геология. Известия Отделения наук о Земле и природных ресурсов АН РБ. 2011. №17. С. 134-137
9. *Чернова О.С.* Нефтегазоносные провинции России и сопредельных территорий // Учебное пособие, Томск: Изд-во ТПУ, 2008. Стр. 221.
10. *Юдин В.В.* Орогенез севера Урала и Пай-Хоя. Екатеринбург: Наука, 1994. 285 с.

Т.В. Карасева, И.С. Хопта
ПГНИУ, tvkaras@psu.ru

НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗУЧЕНИЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ПОРОД РИФЕЯ И ВЕНДАСКВАЖИН И ОБНАЖЕНИЙ УРАЛА И ПРИУРАЛЬЯ

Статья посвящена вопросам интерпретации данных химического состава в целом малоизученных рифей-вендских пород обнажений и скважин Урала и Приуралья для оценки возможности выделения нефтегазоматеринских пород. Сделаны выводы о том, что показатель K_2O/Al_2O_3 и индекс изменения пород CIA косвенно отражают условия формирования и преобразования таких пород и позволяют отметить более широкое распространение нефтегазоматеринских пород в рифей-вендских образованиях, чем предполагалось.

Ключевые слова: обнажения, свита, рифей, венд, гумидный климат, нефтегазоматеринская порода.

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

SOME RESULTS OF THE CHEMICAL COMPOSITION STUDYING OF RIPHEAN AND WENDIAN ROCKS OF URAL OUTCROPS AND PRE-URALS WELLS

The article is devoted to the interpretation of data on the chemical composition of generally poorly studied Riphean-Vendian outcrop and wells rocks to predict oil and gas source rocks. It is concluded that the indicator K_2O / Al_2O_3 and the rock change index CIA indirectly reflect the conditions of formation and transformation of such rocks and allow us to note a wider distribution of oil and gas source rocks in Riphean-Vendian formations.

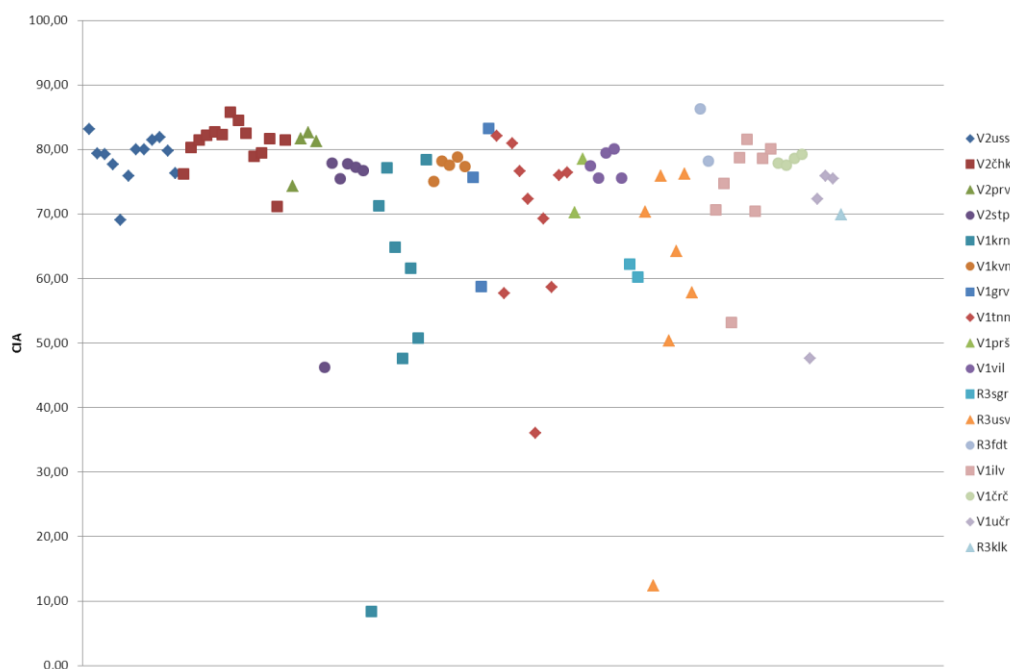
Key words: outcrops, suites, Riphean, Vendian, humid climate, oil and gas source rock.

Детальное изучение химического состава пород рифей-вендских отложений имеет важное значение для получения информации об условиях их формирования и переформирования, определяющих развитие нефтегазоматеринских пород и зон аккумуляции нефти и газа. Ряд авторов (Геохимия ...; Маслов, Ножкин, Подковыров, 2008; Юдович, Кетрис, 2000) придают важное значение показателю K_2O/Al_2O_3 и химическому индексу изменения пород $CIA=(100 \cdot Al_2O_3 / (Al_2O_3+CaO+Na_2O+K_2O))$. Показатель K_2O/Al_2O_3 позволяет различить в терри-

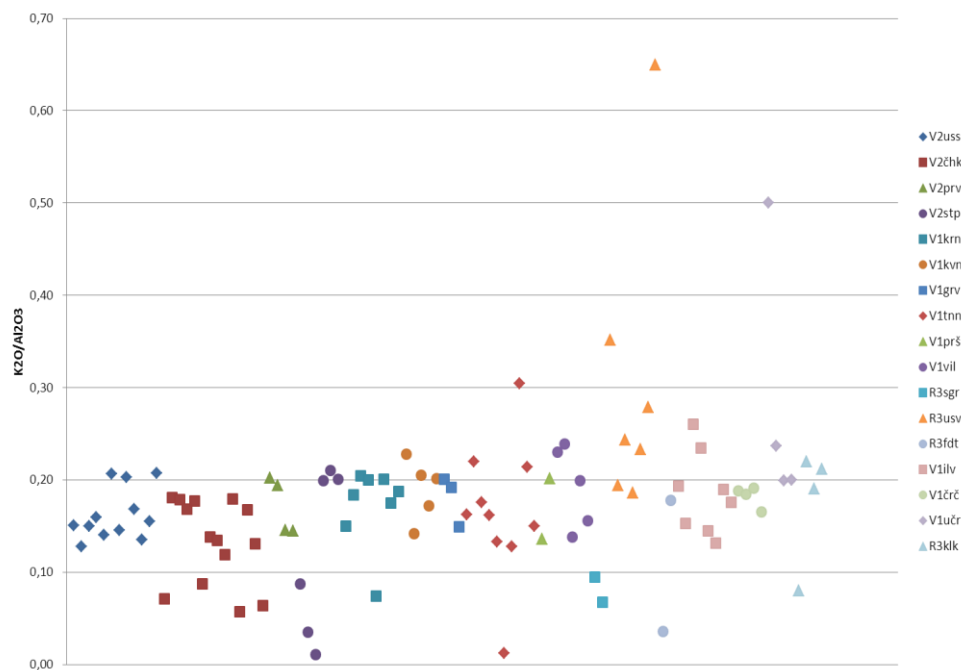
генных образованиях появление петрогенного и литогенного материала. Литогенные породы сложены материалом, прошедшим более чем один седиментационный цикл (мобилизация - перенос - накопление - образование породы), т.е. это довольно существенно переотложенные образования, в которых много устойчивых компонентов и мало или почти совсем нет неустойчивых. Они характеризуются значениями K_2O/Al_2O_3 менее 0,3. Петрогенные породы («firstcycle» обломочные породы) - это породы, которые прошли только один цикл и состоят из достаточно разнообразных, в том числе и довольно нестойких компонентов, отношение K_2O/Al_2O_3 для них соответствует значениям более 0,3. Индекс CIA для тонкой алюмокластики отражает в какой-то степени палеоклимат формирования отложений; повышение индекса до 70 и более указывает на преобладание на палеоводосборах гумидного или близкого к нему климата, способствующего выветриванию пород. При значениях индекса ниже 70 отложения формировались в аридном климате. Породы, не подвергшиеся интенсивному выветриванию, характеризуются значениями индекса порядка 50. Среди органогенных элементов пород важное значение часто (Ильин, 1964) придается фосфору, повышение содержания которого в древних породах связано с накоплением органического вещества.

В работе использованы результаты исследования обнажений КамНИИКИГС по маршрутам №1 «Усьва-1», №2 «Широковское-2», №3 «Койва-1», №5 «Вильва», №6 «Косьва», №9 «Усьва-2», №10 «Колчимский», , а также керны пород скважин 100 Кирилловской площади Чурочная 44 и 751 скв. Бикбайская 128,130, Гривинская 453, 466, Красносельская 187,188, Лызовская 83, Низовский профиль 7, Поляковская 1,11, С-Мыйская 1 скв. Березниковская 1оп, Кизеловская 755, ПСУ, Низовский профиль 7, С-Мальцевская 4 и др.

По результатам химического анализа, который для некоторых свит выполнен в КамНИИКИГС впервые, уточнен состав рифей-вендских пород в обнажениях и скважинах и получены данные для проведения геолого-генетических реконструкций. Сопоставление свит обнажений с аналогами в разрезах скважин на основании данных химического анализа в целом подтвердило используемые корреляции. По параметру K_2O/Al_2O_3 (рис.1) установлено, что основная часть изученных терригенных пород обнажений имеет литогенный генезис, то есть представлена материалом, неоднократно переотложенным. В сложной истории развития рифей-вендских образований такие процессы могут способствовать увеличению содержания глинистого материала, аккумулирующего органическое вещество, имеющего важное значение для формирования нефтегазоматеринских пород. Петрогенные породы выявлены в единичных образцах вендских отложений. На основе данных CIA формирование отложений происходило в большей степени в условиях гумидного и близкого к нему климата, в ряде образцов условия аридного климата выявлены для усьвинской и щегровитской свит верхнего рифея, гаревской, танинской, керносской, перевалокской и чернокаменной свит венда Среднего Урала. Наименее выветрелые породы отмечены в усьвинской и щегровитской свитах верхнего рифея, старопечнинской и перевалокской свитах верхнего венда.



а)



б)

Рис. 1 Изменение значений параметров CIA(а) и K_2O/Al_2O_3 (б) в обнажениях.

В рифей-вендских породах скважин также, как и в случае обнажений преобладают литогенные породы. В формировании отложений преобладали условия гумидного климата, однако для кочевской, верещагинской, кыквинской, краснокамской свит венда встречались и условия аридного климата. Наименее выветрелые породы отмечены в верещагинской и кыквинской свитах.

В целом, подтверждена тенденция роста содержания $C_{орг}$ в зависимости от содержания фосфора для рифей-вендских пород. Не всегда выявляется закономерная связь между этими параметрами из-за различий в степени преобразованности пород в условиях катагенеза и метаморфизма, существенно влияющей на концентрации $C_{орг}$. Известно, что сапропелевая органика, накапливавшаяся в

древних породах, может в условиях жесткого катагенеза и тем более метаморфизма почти полностью разрушаться. Среди изученных обнажений с повышенным содержанием фосфора и $C_{орг}$ нефтегазоматеринские породы, исчерпавшие нефтегазовый потенциал, выделены в федотовской свите верхнего рифея. Нефтегазоматеринские породы, не исчерпавшие полностью нефтяной и газовый потенциал, предполагаются в танинской, койвинской и керносской свитах нижнего венда. Полученные данные о нефтегазоматеринских породах в рифей-вендских обнажениях расширяют перспективы нефтегазоносности региона.

Библиографический список

1. *Геохимия тонкозернистых терригенных пород верхнего докембрия Северной Евразии.* УрО РАН-2008. 274 с.
2. *Ильин А.В.* Древние (эдиакарские) фосфориты // Труды Геологического института, вып. 587. М.: Наука, 1964. 160 с.
3. *Маслов А.В., Ножкин А.Д., Подковыров В.Н.* Геохимия тонкозернистых терригенных пород верхнего докембрия Северной Евразии. УрО РАН – Екатеринбург, 2008. 274 с.
4. *Юдович Я.Э., Кетрис М.П.* Основы литохимии. СПб-Наука, 2000. 276 с.

А.С. Курдюмова

ПГНИУ, Nastya.130898@yandex.ru

ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НЕФТЕЙ КАМЕННОУГОЛЬНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ СОЛИКАМСКОЙ ДЕПРЕССИИ

В статье рассмотрено содержание серы, азота, асфальтенов и парафинов в нефтях Соликамской депрессии. Построены и описаны карты изменения химических свойств нефтей каменноугольной системы разреза осадочного чехла Соликамской депрессии.

Ключевые слова: Соликамская депрессия, нефть, сера, азот, асфальтены, парафины

A.S. Kurdyumova

Perm State University, Perm

CHEMICAL PROPERTIES OF OILS OF COAL DEPOSITS OF THE SOLIKAMSK DEPRESSION

The article deals with the content of sulfur, nitrogen, asphaltenes and paraffins in oils of the Solikamsk depression. Maps of changes in chemical properties of oils of the coal-based system of the section of the sedimentary cover of the Solikamsk depression are constructed and described.

Key words: Solikamsk depression, oil, crude sulfur, nitrogen, asphaltenes, paraffines.

Соликамская депрессия находится в северо-восточной части Пермского края. В тектоническом отношении она расположена на северо-востоке Восточно-Европейской платформы, в пределах Предуральяского краевого прогиба, западнее передовых складок Урала (Курдюмова, 2019). К рассматриваемой террито-

рии приурочен ряд месторождений нефти (Уньвинское, Гежское, Федорцевское, Озерное и другие).

Кристаллический фундамент в пределах данной структуры сложен архей-нижнепротерозойскими образованиями. Разрез осадочного чехла представлен девонской, каменноугольной и пермской системами. Он отражает литолого-фациальные особенности седиментогенеза внутренних рифогенных массивов осевой зоны Камско-Кинельской системы палеопрогибов (бортовой тип разреза) (Неганов, 2010).

С помощью программного пакета ArcMap я построила схематические карты изменения химических свойств нефтей турнейского и визейского ярусов нижнего отдела, а также башкирского яруса среднего отдела каменноугольной системы по площади Соликамской депрессии (рис.). Для работы были использованы данные по содержанию серы, азота, асфальтенов и парафинов в нефтях, взятые из каталога «Нефти, газы и ОВ пород севера Урало-Поволжья» (Нефти, газы...).

Построенные карты были описаны для последующего анализа и выявления закономерностей изменения указанных свойств нефтей по площади Соликамской депрессии.

Параметр, влияющий на окислительные свойства нефти – содержание серы. Соединения серы в нефти, как правило, являются вредной примесью. Они токсичны, имеют неприятный запах, способствуют отложению смол (Химический состав нефти...).

На построенных картах видно, что максимальное содержание серы в нефтях турнейских отложений отмечено в северо-западной части рассматриваемой территории в пределах Чердынского выступа (рис.) и равно 1,4 % (Чердынское месторождение). Минимальное значение параметра определено в северо-восточной части на Гежском палеоплато и равняется 0,21 % (Гежское месторождение). Содержание серы в нефтях турнейских отложений Кисловского, Цепельского, Логовского и других месторождений, приуроченных к Березниковскому палеоплато, колеблется в пределах от 0,52 до 0,90 %. Из этого следует, что нефти турнейского яруса Соликамской депрессии в основном являются сернистыми, только в северо-западной части присутствуют высокосернистые нефти.

В визейском ярусе рассмотрены свойства нефтей бобриковского и тульского горизонтов.

Наибольшее содержание серы в нефтях бобриковских отложений в центральной и юго-восточной частях Соликамской депрессии (рис.) и равняется 0,90 % (Чашкинское и Крутовское месторождения). Наименьшее значение установлено в южной части на Березниковском палеоплато и составляет 0,60 % (Уньвинское месторождение). Содержание серы в нефтях бобриковских отложений Логовского, Пихтового и Юрчукского месторождений составляют 0,73, 0,74 и 0,82 %, соответственно. Следовательно, нефти бобриковского горизонта Соликамской депрессии являются сернистыми.

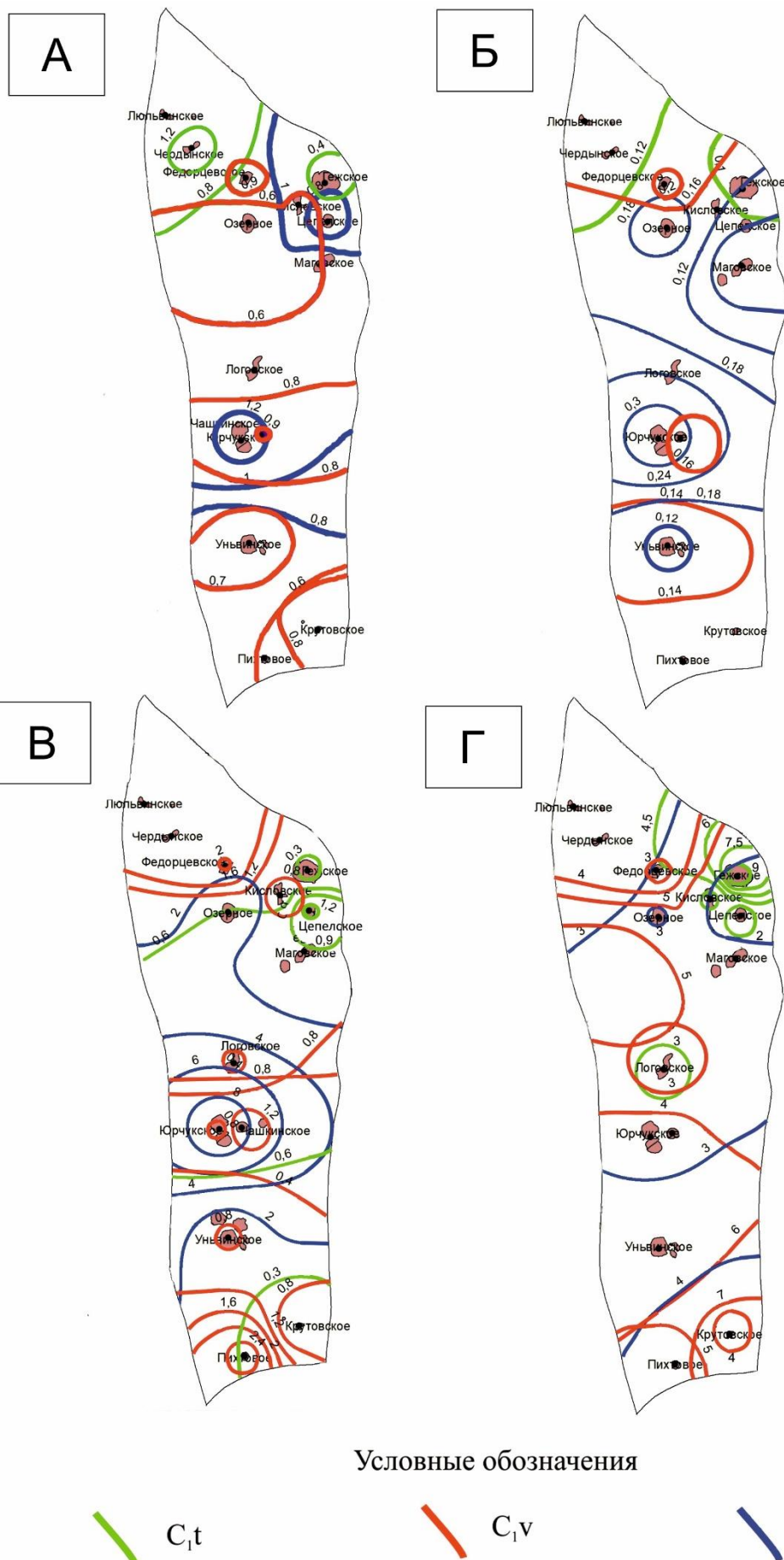


Рис. Химические свойства нефтей нижнего и среднего отделов каменноугольной системы Соликамской депрессии: А – сера, %; Б – азот, %; В – асфальтены, %; Г – парафины, %

Нефти тульского горизонта в северной части изучаемой территории с содержанием серы 1,11 % (Федорцевское месторождение) имеют максимальное значение. Минимальное содержание также наблюдается в северной части на Березниковском палеоплато и равняется 0,31 % (Озерное месторождение). Содержание серы в нефтях тульских отложений Крутовского, Кисловского и Уньвинского месторождений колеблется в пределах от 0,50 до 0,89 %. Таким образом, нефти турнейского яруса Соликамской депрессии в большей степени являются сернистыми, лишь в северной части обнаружены нефти с высоким содержанием серы.

Максимальное содержание серы в нефтях башкирских отложений определено в центральной части рассматриваемой территории на Березниковском палеоплато (рис.) и составляет 1,25 % (Юрчукское месторождение). Минимальное значение отмечено в юго-восточной части и равно 0,63 % (Крутовское месторождение). Содержание серы в нефтях башкирских отложений Уньвинского, Цепельского, Озерного и других месторождений, которые расположены на Березниковском палеоплато, колеблется в пределах от 0,68 до 1,12 %. Следовательно, нефти башкирского яруса Соликамской депрессии в основном являются сернистыми, лишь в центральной части выявлены нефти высокосернистые.

Также мной было рассмотрено содержание азота в нефтях, которое в легких фракциях нефти отсутствует или присутствует в незначительных количествах. Однако в высокосмолистых нефтях содержание соединений азота иногда достигает 10 %.

Пиковое содержание азота в нефтях турнейского яруса отмечено в северо-западной части Соликамской депрессии на Чердынском выступе (рис.) и равно 0,14 % (Люльвинское месторождение). Наименьшее значение установлено в северо-восточной части на Гежском палеоплато и равняется 0,08 % (Гежское месторождение). Содержание азота в нефтях турнейских отложений Кисловского месторождения составляет 0,12%.

Максимальное содержание азота в нефтях бобриковского горизонта зафиксировано в центральной части изучаемой области на Березниковском палеоплато (рис.) и равняется 0,18 % (Чашкинское месторождение). Также на Березниковском палеоплато в южной части изучаемой территории обнаружено минимальное значение, которое составляет 0,12 % (Уньвинское месторождение). Содержание азота в нефтях бобриковских отложений Юрчукского и Пихтового месторождений составляет 0,14 и 0,16 % соответственно.

Нефти тульского горизонта в северной части Соликамской депрессии с содержанием азота 0,22 % (Федорцевское месторождение) обладают максимальным значением. Наименьшее значение наблюдается в южной части и равняется 0,12 % (Крутовское месторождение). Содержание азота в нефтях тульских отложений Озерного и Кисловского месторождений, находящихся в пределах Березниковского палеоплато, составляет 0,13 и 0,14 % соответственно.

Максимальное содержание азота в нефтях башкирского яруса определено в центральной части Соликамской депрессии (рис.) и составляет 0,33 % (Юрчукское месторождение). Минимальное значение отмечено в восточной части и равно 0,01 % (Маговское месторождение). Содержание азота в нефтях башкир-

ских отложений Уньвинского, Чердынского, Озерного и других месторождений колеблется в пределах от 0,11 до 0,20 %.

Кроме того, мной было рассмотрено содержание асфальтенов в нефтях, то есть высокомолекулярных соединений, включающих кислород, серу и азот и состоящие из большого числа нейтральных соединений неизвестного строения и непостоянного состава, среди которых преобладают нейтральные смолы и асфальтены (Ермолкин, Керимов, 2012.).

Наибольшее содержание асфальтенов в нефтях турнейских отложений отмечено в восточной части рассматриваемой территории на Березниковском палеоплато (рис.) и равно 1,24 % (Цепельское месторождение). Наименьшее значение наблюдается в северо-восточной части на Гежском палеоплато и равняется 0,21 % (Гежское месторождение). Содержание асфальтенов в нефтях турнейских отложений Крутовского, Кисловского, Логовского и других месторождений варьируется от 0,26 до 0,74 %. Из этого следует, что нефти турнейского яруса Соликамской депрессии являются малосмолистыми.

Пиковое содержание асфальтенов в нефтях бобриковского горизонта зафиксировано в южной части изучаемой территории (рис.) и равняется 2,56 % (Пихтовое месторождение). Минимальное значение установлено в центральной части на Березниковском палеоплато и составляет 0,36 % (Логовское месторождение). Содержание асфальтенов в нефтях бобриковских отложений Крутовского, Юрчукского, Чашкинского и других месторождений колеблется в интервале от 0,46 до 1,48 %. Следовательно, нефти бобриковского горизонта Соликамской депрессии являются малосмолистыми.

Нефти тульского горизонта в северной части рассматриваемой области содержат максимальное количество асфальтенов – 2,02 % (Федорцевское месторождение). Наименьшее значение наблюдается в юго-восточной части и равняется 0,24 % (Крутовское месторождение). Содержание асфальтенов в нефтях тульских отложений Уньвинского, Кисловского и Озерного месторождений варьируется от 0,31 до 0,92 %. Из этого следует, что нефти турнейского яруса Соликамской депрессии являются малосмолистыми.

Пиковое содержание асфальтенов в нефтях башкирских отложений определено в центральной части Соликамской депрессии на Березниковском палеоплато (рис.) и составляет 9,10 % (Юрчукское месторождение). В восточной части указанной выше структуры отмечено и минимальное значение – 0,45 % (Маговское месторождение). Содержание асфальтенов в нефтях башкирских отложений Крутовского, Уньвинского, Озерного и других месторождений колеблется в пределах от 0,70 до 2,46 %. Таким образом, нефти башкирского яруса Соликамской депрессии являются малосмолистыми.

Вместе с асфальтенами были рассмотрены содержания парафинов в нефтях, а именно смеси твердых углеводородов.

Наибольшее содержание парафинов в нефтях турнейских отложений замечено в северо-восточной части изучаемой области на Гежском палеоплато (рис.) и равно 9,88 % (Гежское месторождение). Наименьшее значение наблюдается в восточной части на Березниковском палеоплато и равняется 2,26 % (Цепельское месторождение). Содержание парафинов в нефтях турнейских отложений Кисловского, Люльвинского, Крутовского и других месторождений варьирует-

ся от 2,69 до 3,99 %. Исходя из этого, нефти турнейского яруса Соликамской депрессии в основном являются парафинистыми, только в северо-восточной части присутствуют высокопарафинистые нефти.

Максимальное содержание парафинов в нефтях бобриковских отложений зафиксировано в южной части Соликамской депрессии (рис.) и равняется 5,73 % (Пихтовое месторождение). Минимальное значение установлено в центральной части на Березниковском палеоплато и составляет 2,18 % (Логовское месторождение). Содержание парафинов в нефтях бобриковских отложений Крутовского, Юрчукского, Уньвинского и других месторождений колеблется в интервале от 3,82 до 4,49 %. Следовательно, нефти бобриковского горизонта Соликамской депрессии являются парафинистыми.

Нефти тульского горизонта в юго-восточной части рассматриваемой территории с содержанием парафинов 7,27 % (Крутовское месторождение) обладают максимальным значением. Наименьшее значение наблюдается в северной части и равняется 2,54 % (Федорцевское месторождение). Содержание парафинов в нефтях тульских отложений Уньвинского, Озерного и Кисловского месторождений, находящихся в пределах Березниковского палеоплато, изменяется от 5,21 до 5,97 %. Из этого следует, что нефти турнейского яруса Соликамской депрессии в основном являются парафинистыми, лишь в юго-восточной части выявлены нефти с высоким содержанием парафинов.

Максимальное содержание парафинов в нефтях башкирских отложений определено в юго-восточной части Соликамской депрессии (рис.) и составляет 4,89 % (Крутовское месторождение). Минимальное значение отмечено в восточной части на Березниковском палеоплато и равно 1,09 % (Цепельское месторождение). Содержание парафинов в нефтях башкирских отложений Маговского, Чердынского, Уньвинского и других месторождений изменяется от 2,53 до 3,74 %. Таким образом, нефти башкирского яруса Соликамской депрессии являются парафинистыми.

Можно сделать вывод, что в отложениях каменноугольной системы Соликамской депрессии преобладают нефти сернистые, малосмолистые, парафинистые, со средней концентрацией азота – 0,16 %.

Библиографический список

1. Ермолкин В.И., Керимов В.Ю. Геология и геохимия нефти и газа: Учебник для вузов. Москва, 2012. 460 с.
2. Курдюмова А.С. Физические и химические свойства нефтей Соликамской депрессии // Новые направления нефтегазовой геологии и геохимии. Развитие геологоразведочных работ: сб. науч. ст. по мат-м II Международ. науч. конф. Пермь: Перм. гос. нац. исслед. ун-т, 2019. С. 128–133.
3. Неганов В.М. Сейсмогеологическая интерпретация геофизических материалов среднего Приуралья и перспективы дальнейших исследований на нефти и газ. Пермь, 2010. 247 с.
4. Нефти, газы и ОВ пород севера Урало-Поволжья. Каталог физико-химических свойств / Под. ред. А.З. Кобловой, Ю.А. Дулепова. Пермь: КамНИИКИГС, 1989. Вып. III. 685 с.
5. Химический состав нефти, свойства её компонентов [Электронный ресурс]. URL: <http://www.ecolocate.ru/locats-315-5.html> (дата обращения: 25.03.2020).

СВЯЗЬ ЛИТОЛОГИЧЕСКИХ И ПЕТРОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОРОД-КОЛЛЕКТОРОВ

Целью работы является сопоставление данных о вещественном составе карбонатных пород турнейского яруса каменноугольной системы и фаменского яруса девонской системы Енапаевского и Забродовского месторождений с результатами петрофизических исследований. Для достижения цели были решены следующие задачи: обобщены данные по литологическому изучению пород-коллекторов по керну; систематизированы результаты определения пористости, проницаемости, объемной плотности и карбонатности пород-коллекторов; проведена статистическая обработка полученной информации.

Основные результаты исследования заключаются в следующем: 1. Петрофизические и литологические свойства коллекторов тесно связаны между собой. В частности, пористость существенно зависит от объемной плотности карбонатных пород изученных месторождений. 2. Свойства пород и характеризующие их параметры для отложений разного геологического возраста заметно различаются. Корреляционные зависимости петрофизических параметров использованы при решении различных проблем нефтяной геологии.

Ключевые слова: геология, углеводороды, месторождения нефти, петрофизика, литология, коллектор.

Е. О. Pavlova
Perm State University, pavlovaevgeniia.psu@mail.ru

RELATIONSHIP OF LITHOLOGICAL AND PETROPHYSICAL CHARACTERISTICS OF RESERVOIR ROCKS

The aim of this work is to compare data on the material composition of the carbonate rocks of the tournaishian tier of the Carboniferous system and Famennian Devonian tier system Alapaevskogo and Saratovskogo fields with the results of petrophysical studies. To achieve this goal, the following tasks were solved: data on the lithological study of reservoir rocks by core were summarized; the results of determining the porosity, permeability, volume density and carbonate content of reservoir rocks were systematized; statistical processing of the information obtained was carried out.

The main results of the study are as follows: 1. Petrophysical and lithological properties of reservoirs are closely related. In particular, the porosity significantly depends on the volume density of carbonate rocks of the studied deposits. 2. Properties of rocks and their characterizing parameters for the sediments of different geological age differ markedly. Correlation dependencies of petrophysical parameters are used in solving various problems of petroleum Geology.

Key words: geology, hydrocarbons, oil fields, petrophysics, lithology, reservoir.

Изучение минерального состава пород-коллекторов углеводородного сырья определяется двумя аспектами. Позволяет судить о палеогеографической обстановке соответствующего времени и об условиях осадконакопления изучаемых от-

ложений. Их сопоставление с петрофизическими данными является важной задачей.

Целью данной работы является сопоставление данных о вещественном составе карбонатных пород турнейского яруса каменноугольной системы и фаменского яруса девонской системы Енапаевского и Забродовского месторождений с результатами петрофизических исследований.

Материал для исследования был предоставлен сотрудниками ООО «Лукойл-Пермь».

Объекты изучения располагаются на территории Уинского и Октябрьского районов Пермского края.

Территория сложена породами вендского и палеозойского комплексов. Палеозойская толща представлена девонскими, каменноугольными и пермскими отложениями. В основном разрез палеозоя представлен слоистыми разностями карбонатов а также терригенными породами такими как аргиллит, алевролит и песчаник. В карбонатных породах встречаются органические остатки – брахиоподы, криноидеи, иглокожие, водоросли, остракоды, мшанки, гастроподы, кораллы.

В тектоническом отношении объекты расположены в пределах Евразийской плиты, на стыке Восточно-Европейской платформы и Уральских гор, в зоне сочленения структур I порядка – Башкирского свода и Бымско-Кунгурской впадины.

Петрофизические свойства пород

Лабораторные исследования петрофизических свойств включали определение стандартного комплекса параметров в атмосферных условиях: определение газовой проницаемости, пористости, плотности, коэффициента водоудерживающей способности, изучение электрических свойств и общей карбонатности.

Петрофизические исследования кернa проводятся в центре исследования кернa и флюидов ПермНИПИНефть. Базовыми характеристиками образцов кернa, получаемыми в рамках проведения общих исследований, являются открытая пористость, абсолютная проницаемость, общая карбонатность, а также объемная плотность.

В процессе написания статьи были систематизированы данные по пористости, проницаемости, объемной плотности и карбонатности пород-коллекторов одной из скважин Енапаевского месторождения и скважины Забродовского месторождения. В качестве примера были рассмотрены образцы, которые относятся к турнейскому и фаменскому ярусам, отобранные с глубин 1592-1870м (Забродовское месторождение) и 1562,1-1990м (Енапаевское месторождение). После систематизации были построены графики корреляции параметров, для некоторых параметров был найден коэффициент корреляции.

Количественные показатели пористости и проницаемости были сведены в таблицу (таблица 1)

Анализ полученных данных позволил сделать следующие выводы.

Широкий разброс значений пористости может быть объяснен особенностями литологического состава пород. Так наибольшее значение пористости наблю-

дается у рыхлых терригенных пород с большим количеством ходов илоседов, а наименьшее - у плотного известняка с единичными сомкнутыми трещинами.

Низкие значения проницаемости отмечены в карбонатных породах, а высокие в терригенных. Низкая проницаемость карбонатных пород объясняется малой трещиноватостью. Проницаемость терригенных коллекторов в основном зависит от наличия в них пелитовой фракции. В нашем случае глинистые прожилки единичны и незначительны, поэтому проницаемость пород высокая.

Таблица 1. Значения пористости и проницаемости пород

Геологический возраст (ярус)	Пористость, %			Проницаемость, $\times 10^{-3}$ мкм ²		
	от	до	среднее	от	до	среднее
1. Забродовское месторождение						
Московский ярус (верийский горизонт)	1,91	13,51	7,73	0,01	7,62	0,88
Визейский ярус (алексенский горизонт)	7,28	16,05	11,27	0,54	73,86	28,40
Визейский ярус (тульский горизонт, карбонатная часть)	0,45	2,61	1,19	0,02	0,98	0,13
Визейский ярус (тульский горизонт, терригенная часть)	0,98	23,32	14,77	0,01	3921,15	186,36
Турнейский ярус	0,57	15,48	6,38	0,01	52,07	6,17
Фаменский ярус	0,33	17,07	3,35	0,01	732,75	11,10
2. Енапаевское месторождение						
Башкирский ярус	0,52	12,45	4,49	0,01	19,93	1,48
Визейский ярус (тульский горизонт, карбонатная часть)	0,35	11,75	5,19	0,01	3,10	0,56
Визейский ярус (тульский горизонт, терригенная часть)	2,01	19,83	13,01	0,03	301,66	47,60
Визейский ярус (бобриковский горизонт)	2,21	23,25	16,64	0,03	5120,56	437,25
Визейский ярус (радаевский горизонт)	2,58	17,15	12,96	0,23	508,6	97,08
Турнейский ярус	0,71	16,37	8,50	0,01	127,87	13,45
Фаменский ярус	0,09	15,40	1,70	0,01	390,40	5,91

Анизотропия свойств карбонатных пород

Для оценки степени неоднородности пород рассчитывались коэффициенты анизотропии вертикальной проницаемости (таблица 2). Как известно, коэффициенты проницаемости горных пород субпараллельно и субперпендикулярно напластованию всегда отличаются по причине преимущественного движения подземных вод вдоль пласта или выраженной слоистости пород в результате локальной тектонической деятельности. Однако если в массиве появляется явно выраженная вертикальная трещиноватость, то проницаемость вдоль напластования становится значительно ниже и коэффициент анизотропии увеличивает-

ся. Отсюда анизотропия несёт информацию о трещиноватых зонах вертикальной миграции пластовых флюидов. Анизотропия вертикальной проницаемости - величина, выражаемая частным от деления значения проницаемости пласта в горизонтальном направлении на проницаемость его по вертикали.

Таблица 2. Сводная ведомость анизотропии свойств карбонатных пород

Геологический возраст (ярус)	Проницаемость параллельно напластованию, $\times 10^{-3}$ мкм ²			Проницаемость перпендикулярно напластованию, $\times 10^{-3}$ мкм ²			Коэффициент анизотропии
	от	до	среднее	от	до	среднее	
1. Забродовское месторождение							
Московский ярус (верийский горизонт)	0,01	3,29	2,26	0,01	1,78	0,24	2,264
Визейский ярус (тульский горизонт, карбонатная часть)	0,03	0,98	0,08	0,03	0,11	0,05	1,683
Турнейский ярус	0,01	39,43	0,79	0,01	52,92	0,49	1,603
Фаменский ярус	0,01	732,75	0,27	0,01	51,70	0,11	2,464
2. Енапаевское месторождение							
Башкирский ярус	0,01	8,24	0,19	0,01	30,80	0,28	0,667
Турнейский ярус	0,03	127,87	2,27	0,01	197,15	0,95	2,379
Фаменский ярус	0,01	105,09	0,05	0,01	125,56	0,04	1,171

Проницаемость пород параллельно напластованию практически всегда заметно выше, чем перпендикулярно напластованию. Высокие значения коэффициента анизотропии могут быть объяснены, главным образом, слоистостью горных пород, также влияние оказывает наличие сильной трещиноватости пород.

Преобладающим минералом в составе карбонатных коллекторов является кальцит, доломит и нерастворимый остаток являются второстепенными. Однако *доломитизация* является одним из ведущих факторов при формировании коллекторов. Можно отметить, что доломитизация в одни и те же временные периоды в породах Забродовского месторождения значительно выше, чем в породах Енапаевского месторождения. При доломитизации заметно увеличение пористости, так как процесс идет в породе с жестким скелетом, которая трудно поддается уплотнению. Общий объем породы сохраняется, пустотность в ней за счет доломитизации повышается.

Анализ петрофизических и литологических данных пород-коллекторов. Забродовское месторождение.

Пористость. Самое низкое значение пористости (0,57%) отмечено у доломитового известняка, с высоким содержанием нерастворимого остатка, а самое высокое (15,91%) — у чистого известняка. Различие объясняется тем, что доломитовый известняк — это более плотная порода с меньшим количеством порового пространства.

Объемная плотность. Самые низкие значения объемной плотности были отмечены у чистого известняка - 2,27 и 2,31 г/см³, а самые высокие - у доломита с высоким содержанием нерастворимого остатка - 2,79 и 2,81 г/см³.

Проницаемость. Самое низкое значение проницаемости (0,01 мД) отмечено у доломитового известняка, с высоким содержанием нерастворимого остатка, у чистого известняка и у доломита, а самое высокое значение проницаемости (52,07 и 124,80 мД) отмечено также у чистого известняка. Из этого можно сделать вывод, что порода не влияет на значение проницаемости.

Карбонатность. Доломитизация является одним из ведущих факторов при формировании коллекторов. Первичная диагенетическая доломитизация не имеет существенного значения для формирования коллекторских свойств. Метасоматическая доломитизация в катагенезе более важна для преобразования коллекторов. При метагенетической доломитизации особенно заметно увеличение пористости, так как процесс идет в породе с жестким скелетом, которая трудно поддается уплотнению. Общий объем породы сохраняется, пустотность в ней за счет доломитизации повышается.

В среднем породы турнейского яруса сложены на 78,7% кальцитом, на 16,1% доломитом и на 5,2% нерастворимым остатком, который представлен кремнем, ангидритом и небольшим количеством глины. Наиболее высокое содержание нерастворимого остатка 28,3% обнаружено на глубине 1624-1633 м.

В среднем породы Фаменского яруса сложены на 82,6% известняком, на 15,0% доломитом и на 2,4% нерастворимым остатком, который представлен кальцитом и глиной. Наиболее высокое содержание нерастворимого остатка 27,6% обнаружено на глубине 1730-1743,6 м.

Енапаевское месторождение.

Пористость. Колебания значений пористости в скважине Енапаевского месторождения не отличаются от данных Забродовского месторождения. Самое низкое значение пористости (0,72%) также отмечено у доломитистого известняка с высоким содержанием нерастворимого остатка, а самое высокое (13,82%) - у чистого известняка.

Объемная плотность. Самые низкие значения объемной плотности были отмечены у чистого турнейского известняка (2,22 и 2,31 г/см³), а самые высокие у доломита с высоким содержанием нерастворимого остатка (2,69 и 2,81 г/см³).

Проницаемость. В основном на значение проницаемости влияют слоистость, трещиноватость и течение подземных вод. Количественной зависимости от состава карбонатной породы не наблюдается. Самые низкие значения проницаемости (0,1 мД), так же как и самые высокие (197,15 и 105,09 мД), были отмечены у чистого известняка.

Карбонатность. В среднем породы Турнейского яруса сложены на 92,9% известняком, 6,2% доломитом и 0,8% нерастворимым остатком, который представлен в основном глиной. Наиболее высокое содержание нерастворимого остатка 10,7% обнаружено на глубине 1568.3-1577,3 м.

В среднем породы Фаменского яруса сложены на 91,8% известняком, 5,4% доломитом и 2,9% нерастворимым остатком, который представлен кальцитом, глиной и ангидритом. Наиболее высокое содержание нерастворимого остатка 34,0% обнаружено на глубине 1707-1716 м.

Можно отметить, что доломитизация в одни и те же временные периоды в породах Забродовского месторождения значительно выше, чем в породах Енапаевского месторождения.

Зависимость абсолютной газопроницаемости от пористости.

В нашем случае между параметрами абсолютной газопроницаемости и пористости прослеживается прямая степенная зависимость.

Для пород турнейского яруса при значениях пористости выше 14% наблюдается резкое повышение проницаемости как для Забродовского, так и Енапаевского месторождения. Для пород фаменского яруса такого резкого скачка значений проницаемости не наблюдается, но все же присутствует их заметный рост.

Аномально высокие значения проницаемости отдельных проб можно объяснить резким увеличением их трещиноватости.

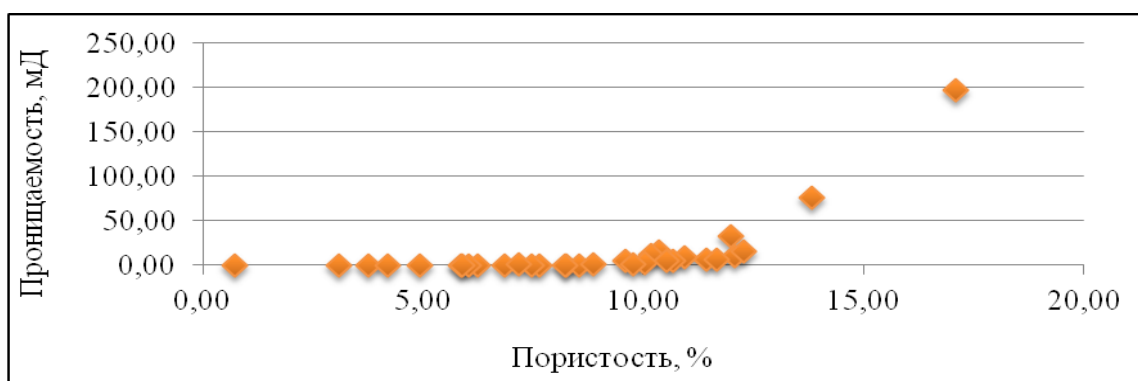


Рис. 1. Енапаевская скважина. Зависимость абсолютной газопроницаемости от пористости для пород C_{1t}

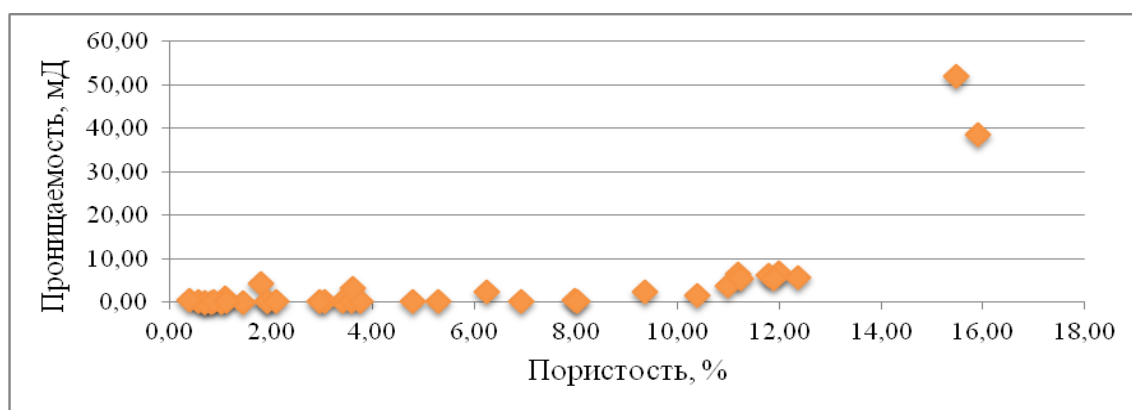


Рис. 2. Забродовская скважина. Зависимость абсолютной газопроницаемости от пористости для пород C_{1t}

В работах И. Козени, К. Терцаги и других ученых, создавших теорию фильтрации, функциональная зависимость между пористостью и проницаемостью существует только для идеальных грунтов. Ф.А. Требин отмечает, что аналитической зависимости между пористостью и проницаемостью не существует. Та-

кие же мнения высказываются в работах многих других ученых. Отмечается, что для отдельных типов пород может иметь место корреляционная зависимость между пористостью и проницаемостью.

Зависимость пористости от объемной плотности пород.

Выявлена обратная зависимость между показателями пористости и плотности пород. Для этих показателей по каждому месторождению был рассчитан коэффициент корреляции, который составляет от 0,94 до 0,99. Это означает что между показателями плотности и проницаемости очень сильная, практически функциональная связь.

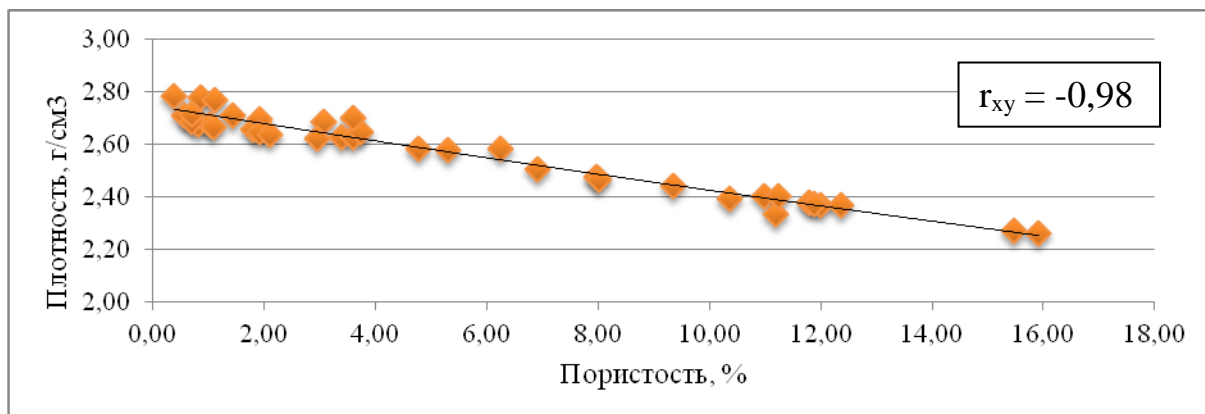


Рис. 3. Забродовская скважина. Зависимость пористости от плотности для пород C₁

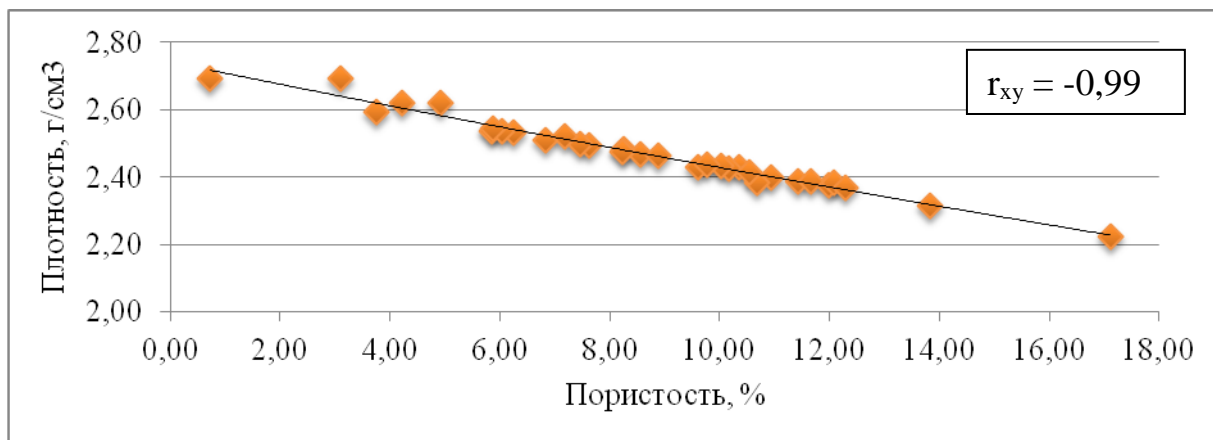


Рис. 4. Енапаевская скважина. Зависимость пористости от плотности для пород C_{1t}

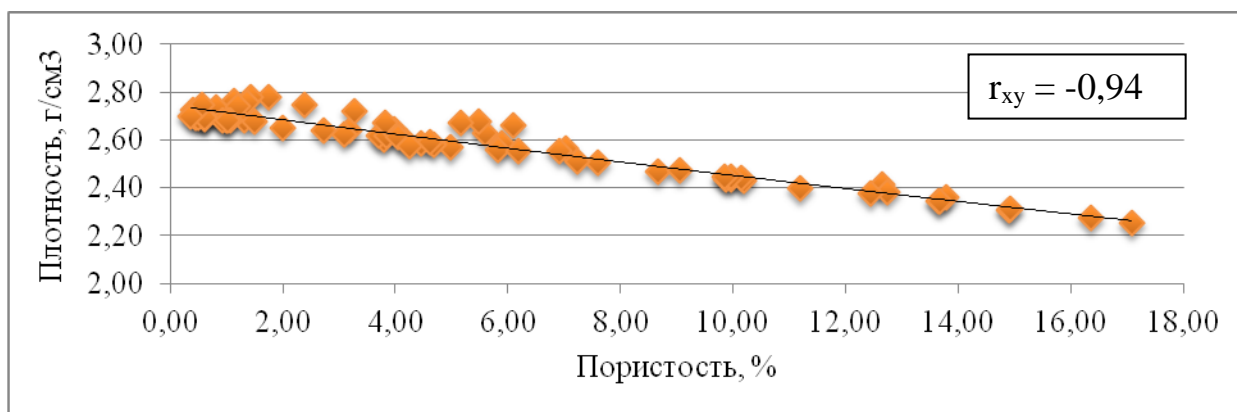


Рис. 5. Забродовская скважина. Зависимость пористости от плотности для пород D_{3fm}

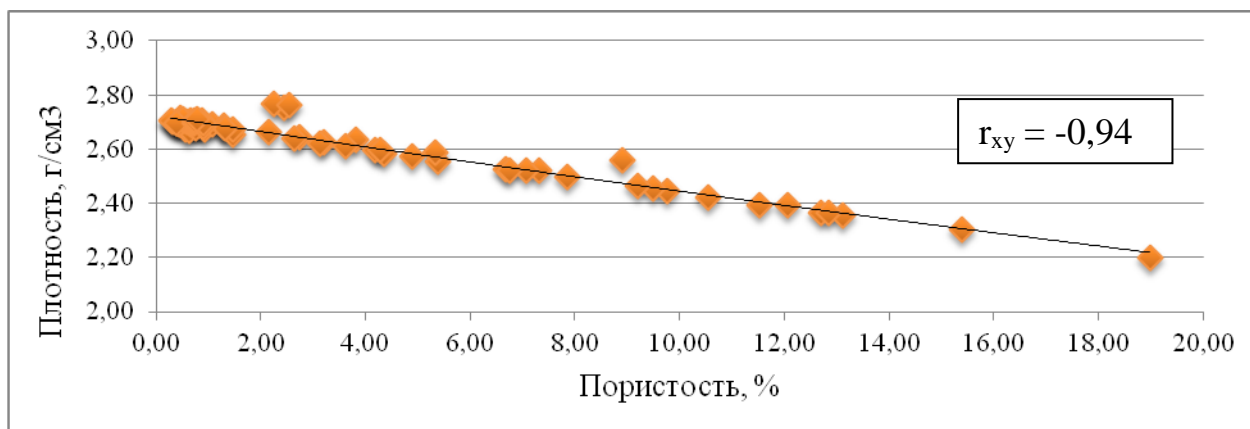


Рис. 6. Забродовская скважина. Зависимость пористости от плотности для пород D3fm

Заключение

На сегодняшний день к важнейшим результатам геологоразведочных и промысловых работ следует относить не только информацию о геологическом строении залежи и ее свойствах, необходимых для подсчета запасов, но и возможность количественного прогноза поведения залежи в процессе разработки, определения добычных характеристик коллекторов и состава притока. Отсюда следует необходимость анализа характеристик, определяющих фильтрационные и емкостные способности коллектора по флюидам, находящимся в пласте, – динамических параметров коллекторов (фазовых проницаемостей, эффективной пористости), капиллярных давлений и других свойств в условиях естественного залегания.

В процессе написания статьи были рассмотрены и проанализированы петрофизические характеристики и литологический состав пород-коллекторов Енапаевского и Забродовского месторождений нефти, расположенных в Октябрьском и Уинском районах Пермского края.

В ходе работы были обобщены данные по литологическому изучению пород-коллекторов по керну; систематизированы результаты определения пористости, проницаемости, объемной плотности и карбонатности пород-коллекторов, а также была проведена статистическая обработка полученной информации.

По результатам работы можно сделать вывод, что все петрофизические и литологические параметры связаны между собой в различной степени. Наиболее крепкая связь прослеживается между значениями пористости и объемной плотности. Так как параметр пористости – один из важнейших для коллекторских свойств горных пород, то данная связь может быть использована для прогнозирования вероятности нахождения нефти.

Также была отмечена важность изучения анизотропии пород-коллекторов. Проницаемость трещиноватых пластов-коллекторов характеризуется ярко выраженной пространственной анизотропией, которую необходимо учитывать при разработке месторождения. Важность учета анизотропии проницаемости состоит в том, что она в значительной степени влияет на характер гидродинамических процессов, протекающих в разрабатываемом пласте.

Библиографический список

1. *Багринцева К.И.* Карбонатные породы-коллекторы нефти и газа. М.: Недра, 1977. 219 с.
2. *Иванов М.К., Калмыков Г.А., Белохин В.С., Корост Д.В., Хамидуллин Р.А.* Петрофизические методы исследования кернового материала. Учебное пособие в 2-х книгах. Кн. 2: Лабораторные методы петрофизических исследований кернового материала. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2008. 113 с.
3. *Калинко М.К.* Методика исследования коллекторских свойств кернов. М.: Гостоптехиздат, 1963.
4. *Орлов Л.И.* Петрофизические исследования коллекторов нефти и газа / Л.И.Орлов, Е.Н. Карпов, В.Г. Топорков. М.: Недра, 1987.
5. *Ханин А.А.* Породы-коллекторы нефти и газа и их изучение. М.: Недра, 1969. 366 с.
6. *К. Терцаги.* Теория механики грунтов. — М., 1961.
7. *Требин Ф.А.* Нефтепроницаемость песчаных коллекторов М.; Л.: Гостоптехиздат, 1945. — 139 с.

Г.Б. Болотов

ПГНИУ, grigorijbolotov@yandex.ru

РЕБРЕНДИНГ В КОМПАНИЯХ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

Узнаваемость бренда многие компании топливно-энергетического комплекса считают приоритетной в конкурентной борьбе. Бренд становится основной частью goodwill – нематериальных активов компании. Хорошо и правильно созданный бренд начинает приобретать стоимость, иногда сопоставимую со стоимостью материальных активов предприятия. Все чаще применяются не только традиционные методы брендинга, но и различные формы ребрендинга. Приводятся примеры, используемые при чтении курса «Топливо-энергетический маркетинг».

Ключевые слова: брендинг, ребрендинг, топливно-энергетический комплекс.

G.B. Bolotov

Perm State University, grigorijbolotov@yandex.ru

REBRANDING IN FUEL AND ENERGY COMPLEX COMPANIES

Many companies in the fuel and energy complex consider brand recognition a priority in the competition. The brand becomes the main part of goodwill - the company's intangible assets. A well-established brand begins to acquire a value that is sometimes comparable to the value of the the tangible assets of enterprise. More and more often, not only traditional methods of brending are used, but also various forms of rebranding. Examples applied in the course "Fuel and energy marketing" are given.

Key words: branding, rebranding, fuel and energy complex.

В XXI веке информационное направление маркетинга в корпорациях топливно-энергетического комплекса 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. Постепенно традиционные формы (логотипы, товарные знаки, слоганы, фирменный стиль) этого вида маркетинга распространяются на архитектурный стиль предприятий, рекламные активности в массовых спортивных и других публичных мероприятиях, производство художественных фильмов, имидж публичных лиц («послов компаний»).

Узнаваемость фирменного стиля начинает считаться приоритетной в конкурентной борьбе. Бренд рассматривается как основная часть потенциальных goodwill – нематериальных активов. Компании начинают активно заниматься не только брендингом, но и ребрендингом: модифицируют традиционный собственный фирменный стиль, меняют его на более популярный, распространяют на выкупленные у конкурентов объекты.

В 2006г. ОАО «Татнефть» приняло решение о смене фирменного стиля. Существующий логотип компании (рис. 1) был разработан более 10 лет назад и уже не отвечал современным требованиям и статусу компании как по своему смысловому содержанию (нефтяной фонтан символизировал добывающую направленность деятельности компании), так и по графическому воплощению (перегруженность). Кроме того, в "Татнефти" не применялась жестко стандартизированная система визуальных коммуникаций. В результате многие из структурных подразделений, дочерних и зависимых обществ имели собственную символику, не выражающую их принадлежность группе компаний "Татнефть", что в целом нарушало восприятие "Татнефти" как крупного вертикально-интегрированного холдинга, занимающегося не только добычей, но и полным циклом переработки нефти.



Рис. 1. Логотип ОАО «Татнефть» до 2006г.

Обновленная фирменная символика "Татнефти", по мнению разработчика – российского агентства DIRECT DESIGN, отражает ключевые ценности бренда: экологичность, высокий уровень технологичности и социальной ответственности. Новый фирменный блок состоит из двух частей: уникального графического

начертания названия компании (логотипа) и фирменного знака, символизирующего поступательное развитие, рост, последовательность и гибкость (рис.2). Бренд «Татнефть» входит в международный рейтинг самых ценных брендов России. Торговая марка «Татнефть» рассматривается Компанией как ценный нематериальный актив, участвующий в формировании рыночной стоимости ПАО «Татнефть» [tatneft.ru]. От скважины – до бензобака». Именно такой девиз и принцип работы активно воплощает сегодня в жизнь ПАО «Татнефть». Это значит, что качество продукции тщательно контролируется на всех этапах производства, транспортировки и хранения (рис.3).



Рис. 2. Фирменный стиль ОАО «Татнефть» с 2006г.

В 2000 г. ПАО «Лукойл» через дочернее предприятие «LUKOIL Americas Corporation» (LUKOIL Americas) купил за \$71 млн. компанию Getty Petroleum Marketing [lukoilamericas.com], владеющую правом долгосрочной аренды 1300 АЗС и сети нефтебаз в восточных штатах США – от канадской границы до Северной Каролины (рис. 3).



Рис.3. Заправка Getty до покупки Лукойлом

В 2004 г. ЛУКОЙЛ в том же регионе (штаты Нью-Джерси и Пенсильвания) купил у ConocoPhillips за \$375 млн. сеть из 795 АЗС, работавших под брендом Mobil. Две сети к 2004г. обеспечивали примерно 8% розничного рынка нефтепродуктов Восточного побережья США. В 2007г. LUKOIL Americas Corporation завершил ребрендинг заправок (рис. 4).



Рис. 4. Заправка Getty после ребрендинга

При попытке продвинуть свой бренд на американском розничном рынке ЛУКОЙЛ столкнулся с рядом серьезных проблем, сведения о которых автору удалось подчерпнуть лишь из различных неофициальных сайтов. Часть автозаправочных станций ЛУКОЙЛу не принадлежат, и владельцы некоторых из них не захотели менять вывеску Mobil на российский Lukoil. Собственники 28 заправок посчитали, что в США российский бренд никто не знает, в отличие от Mobil, с которым они проработали уже не одно десятилетие. Они подали иск против ConocoPhillips и Lukoil Americas Corporation, в котором фактически обвиняли компании в разрушении их бизнеса.

Также, на ЛУКОЙЛ подала в суд калифорнийская фирма Lucas Oil Products Inc. Она обвинила ЛУКОЙЛ в том, что новый товарный знак Lukoil содержит в себе элементы торговой марки Lucas (рис.5). Упоминался ряд других примеров обращений в суд против Lukoil Americas Corporation. На одном из сайтов приводятся результаты опроса водителей, заправлявшихся на заправках ЛУКОЙЛа. Большая часть клиентов думала, что покупает английский бензин. Когда им объясняли, что производитель бензина – ЛУКОЙЛ, крупная международная нефтяная компания с центром в России, в целом реакция была позитивной. Покупатели часто были рады, что покупают не ближневосточный бензин.



Рис. 5. Торговый знак Lucas Oil Products Inc

С мая 2008г. ЛУКОЙЛ начал продавать часть АЗС в США. По сведениям российской ежедневной деловой газеты «Ведомости», ссылающейся на пресс-релиз ЛУКОЙЛа, Lukoil Americas Corporation продала компанию Getty Petroleum Marketing компании Cambridge Petroleum Holding. Основным активом Getty Petroleum были 900 автозаправок на территории США. Условия сделки Lukoil Americas не разглашает. После заключения сделки у "Лукойла" осталось в США 635 АЗС [vedomosti.ru].

ЛУКОЙЛ не собирается полностью уходить с топливного рынка США. Избавляясь от неэффективных заправок, холдинг оставляет в своей структуре более прибыльные станции. В настоящее время, как отмечается на официальном сайте ЛУКОЙЛА, «ПАО «ЛУКОЙЛ» присутствует на розничном рынке нефтепродуктов США с 2000 года. Компания управляет сбытовой сетью, расположенной в 11 штатах на восточном побережье страны и в округе Колумбия (г. Вашингтон)» [lukoil.ru]. На сайте Lukoil Americas Corporation отмечается высокий уровень сервиса на АЗС ЛУКОЙЛ. Практически на всех заправках имеются фирменные магазины: либо MART LUKOIL либо минимаркеты одной из крупнейших мировых сетей 7-Eleven, работающие по франчайзингу. Заправками управляет дочернее предприятие - LUKOIL North America LLC [lukoilamericas.com]

В качестве примера смены бренда можно привести приобретение компании Кастрол компанией ВР в 2002 году [br.com]. До этого времени ВР многие годы производила и продавала моторные масла и специальные жидкости под торговой маркой ВР (рис. 6). Объемы продаж и узнаваемость бренда моторных масел крупнейшей корпорации ВР были значительно ниже, чем у Кастрол.



Рис. 6. Упаковки моторных масел BP



Рис. 7 Упаковки моторных масел Castrol

BP 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 BP маслами под торговой маркой Кастрол (рис. 7). В России этот процесс в основном закончился к 2008г. для легкомоторных (легковые автомобили, мотоциклы, катера и т.д.), и к 2017г – для коммерческих транспортных средств: большегрузных автомобилей и специальной техники (Болотов, 2019). Затраты на ребрендинг вполне себя оправдали. С 2006 по 2017гг. доля сектора по производству масел в общем обороте BP увеличилась почти в 20 раз (с 0,05% до почти 1%).

Библиографический список

1. *Официальный сайт компании ПАО «Татнефть»*. tatneft.ru (Дата обращения 19.03.2020)
2. *Сайт компании LUKOIL Americas Corporation*. lukoilamericas.com (Дата обращения 11.02.2011)
3. *Сайт газеты «Ведомости»* vedomosti.ru (Дата обращения 19.03.2020)
4. *Официальный сайт компании ПАО «ЛУКОЙЛ»*. lukoil.ru (Дата обращения 19.03.2020)
5. *Официальный сайт компании ВР в России*. vr.com (Дата обращения 11.03.2019)
6. *Болотов Г.Б.* Анализ изменений методов маркетинга применительно к задачам курса «топливно-энергетический маркетинг» // Геология и полезные ископаемые Западного Урала. Вып. 2(39). Пермь, ПГНИУ, 2019. С 116-121.

Р.Н. Петрова

ПГНИУ, kitregina Petrova@gmail.com

ОБ ОСОБЕННОСТЯХ РАДИОАКТИВНОСТИ В ПОРОДАХ НИЖНЕТУТЛЕЙМСКОЙ ПОДСВИТЫ

Аннотация: настоящая статья посвящена изучению распределения радиоактивности в породах нижнетутлеймской подсвиты, вскрытой одной из скважин в юго-западной части Елизаровского прогиба. Нижнетутлеймская подсвита отличается от вмещающих пород высокими значениями естественной радиоактивности, которая имеет тенденцию к увеличению от подошвы до кровли подсвиты. Наибольший вклад в естественную радиоактивность пород вносит уран, в меньшей степени калий и торий. Показано, что максимальное содержание урана приурочено к скоплениям органического вещества и пропорционально его концентрации в породах.

Ключевые слова: нижнетутлеймская подсвита, органическое вещество, радиоактивность, уран.

R.N. Petrova

Perm State University, kitregina Petrova@gmail.com

ABOUT THE FEATURES OF RADIOACTIVITY IN ROCKS OF LOWER TUTLEIM FORMATION

Abstract: this article is devoted to the study of the distribution of radioactivity in the rocks of the Lower Tutleim Formation, which was discovered by one of the wells in the southwestern part of the Elizarovsky depression. The lower Tutleim formation differs from the host rocks in high values of natural radioactivity, which tends to increase from the sole to the roof of the sub-formation. The greatest contribution to the natural radioactivity of rocks is made by uranium, to a lesser extent potassium and thorium. It was shown that the maximum uranium content is confined to accumulations of organic matter and is proportional to its concentration in the rocks.

Key words: lower Tutleim formation, organic matter, radioactivity, uranium.

Изучению закономерностей и особенностей радиоактивности отложений высокоуглеродистой баженовской свиты Западно-Сибирского нефтегазоносного бассейна начиная с 70-х гг. прошлого столетия посвящено большое количество работ.

И.И. Плуман одним из первых рассмотрел содержание урана и тория в породах баженовской свиты. Он отмечал, что содержание урана в битуминозных отложениях свиты намного выше, чем в ниже- и вышележащих песчано-глинистых породах, а содержание тория практически не изменяется (Плуман, 1971). Немного позже им был сделан вывод об уменьшении концентрации урана по направлению к краевым частям бассейна (Плуман, 1975).

Иной подход к изучению радиоактивности баженовской свиты был у В.В. Хабарова и соавторов (Хабаров и др., 1980), которые связали содержание урана с определенными типами пород свиты. Изучая баженовскую свиту Салымского нефтегазоносного района, ими был сделан вывод о приуроченности высоких концентраций урана до 60 г/т для сильнобитуминозных глинистых пород с содержанием органического вещества более 15 %, для слабобитуминозных глинистых пород с содержанием органического вещества до 5 % концентрации урана достигают до 45 г/т, и для карбонатизированных пород свойственны самые низкие содержания урана до 20 г/т.

Важным результатом работ прошлых лет следует считать вывод о приуроченности урана к органическому материалу в условиях восстановительной среды. В работах И.И. Плумена, Ф.Г. Гурари, Я.Э. Юдовича и других была обнаружена связь содержания органического вещества с естественной радиоактивностью пород.

Проанализировав исследования прошлых лет и принимая во внимание выявленные закономерности и особенности распределения радиоактивности в баженовской свите, в качестве объекта исследования в настоящей работе рассматриваются отложения нижнетутлеймской подсвиты, вскрытые одной из скважин расположенной в юго-западной части Елизаровского прогиба. Известно, что нижнетутлеймская подсвита, распространенная в западном направлении к приуральской части Западно-Сибирского нефтегазоносного бассейна, является стратиграфическим аналогом нефтематеринской баженовской свиты.

Определение естественной радиоактивности пород подсвиты проводилось по показаниям гамма-каротажа, а концентраций урана, тория и калия по спектрометрической модификации гамма-каротажа.

Отложения нижнетутлеймской подсвиты отличаются от вмещающих пород высокими показаниями естественной радиоактивности. По результатам комплексного литолого-петрографического исследования разрез подсвиты представлен битуминозными породами смешанного глинистого-карбонатно-кремнистого состава. На основании различия литологического состава слагающих пород и данных геофизических исследований скважин выявлены 4 отдельные пачки от подошвы до кровли подсвиты.

Пачка 1 выделена в подошве нижнетутлеймской подсвиты и представлена у основания черными тонкослоистыми аргиллитами, перекрытыми глинисто-битуминозными породами преимущественно черного цвета, пелитовыми, тонкослоистыми. В породах отмечаются многочисленные линзы пирита округлой формы до 2,0 мм. Естественная радиоактивность пород, зафиксированная на кривой гамма-каротажа, изменяется от 8,1 до 13,4 мкР/ч, при среднем значении 11,5 мкР/ч. Средняя концентрация урана составляет 8,3 г/т, тория – 5,7 г/т, калия – 1,9 г/т. Пачка характеризуется низкими концентрациями органического вещества, не превышающими 4,3 %. Мощность пачки составляет 6 м.

Пачка 2 представляет собой чередование глинисто-битуминозных пород с глинисто-карбонатными прослоями. Глинисто-битуминозные породы преимущественно черного цвета, пелитовые, тонкослоистые. В породах отмечается неравномерная вкрапленность мелкозернистого пирита, а также единичные включения округлой и неправильной формы размером до 1,5 мм. Глинисто-карбонатные породы от темно-серого до черного цвета, пелитовые, тонкослоистые. В породах отмечается неравномерная вкрапленность мелкозернистого пирита. Наблюдается единичные включения пирита линзовидной формы размером до 3,5 мм. Показания гамма-каротажа изменяются от 12 до 25 мкР/ч. Средняя концентрация урана составляет 17,5 г/т, тория – 4,2 г/т, калия – 1,3 г/т. Концентрация органического вещества в целом выше чем, в предыдущей пачке 7,9 %, при среднем значении 5,3 %. Мощность пачки составляет 7 м.

Следующая вверх по разрезу подсвиты пачка 3 сложена глинисто-кремнисто-битуминозными породами от темно-серого цвета до черного с бурым оттенком. В породе отмечается неравномерная вкрапленность мелкозернистого пирита. Участками пирит образует прослои, цепочки и линзы с нечеткими границами. Эта часть разреза подсвиты существенно отличается по данным гамма-каротажа от нижележащих отложений пачек 1 и 2. Естественная радиоактивность пород увеличиваются почти вчетверо, в среднем по пачке составляет 47,6 мкР/ч, изменяясь от 19,2 до 90,3 мкР/ч. Средняя концентрация урана также увеличивается и составляет 54,8 г/т, тория – 3,7 г/т, калия – 1,7 г/т. Концентрация органического вещества изменяется от 5,3 до 12,2 %, при среднем значении 8,3 %. Мощность пачки составляет 5 м.

Залегающая в кровле нижнетутлеймской подсвиты пачка 4 сложена глинисто-карбонатно-битуминозными породами. Порода черные с бурым оттенком, алевропелитовые, тонкослоистые. В породах отмечается неравномерная вкрапленность пирита, его скоплений в виде прослоев и линз удлиненной формы размером от долей мм до 2 см. Карбонаты представлены кальцитом и доломитом в виде зерен неправильной формы, часто замещают раковины радиолярий. Естественная радиоактивность пород изменяется от 19,4 до 120,1 мкР/ч, в среднем по пачке составляет 43,7 мкР/ч. Средняя концентрация урана составляет 48,9 г/т, тория – 6,5 г/т, калия – 1,6 г/т. Содержание органического вещества в данной пачке разреза достигает максимальной концентрации до 14,6 %, при среднем значении 11,3 %. Мощность пачки составляет 17 м.

Как показал корреляционный анализ, органическое вещество в отложениях нижнетутлеймской подсвиты коррелирует с ураном (коэффициент корреляции 0,70) и в меньшей степени с торием (коэффициент корреляции 0,46), для калия характерно отсутствие связи (рис. 1,2). В целом, уран в породах подсвиты распределен неравномерно, его максимальные концентрации приурочены к локальным скоплениям органического вещества. Так, максимальной концентрации органического вещества (14,6 %) соответствует максимальная концентрация урана 120,1 г/т.

Типизацию пород нижнетутлеймской подсвиты также можно провести, используя отношение урана к торию (U/Th). Пачка 1 характеризуется изменением данной величины в диапазоне от 0,5 до 2,9, при среднем значении 1,7. Пачка 2 – от 1,8 до 9,7, при среднем значении 5,6. Пачка 3 характеризуется высокими отношениями U/Th до 45,2, при среднем значении 25,8. Пачка 4 – от 2,7 до 17,8, при среднем значении 9,1. Невысокие значения отношения U/Th характерны больше для глинистых разностей, больше развитых в 1 и 2 пачках. Область высоких значений ($U/Th > 22$) характерна для интервалов возможного развития трещиноватости либо для пород с аномально высоким содержанием органического вещества. С.А. Дудаев, изучая нефтематеринские отложения олигоцена Восточного Предкавказья, предложил использовать отношение параметров « U/Th -Сорг» как способ идентификации коллекторов и нефтематеринских пород. Коллекторы в поле этих параметров характеризуются низкими значениями органического вещества и повышенными значениями величины U/Th , и, согласно С.А. Дудаеву, соответствуют «интервалам повышенной трещиноватости, обогащенным микрофауной и рыбным детритом», а непосредственно нефтематеринские породы значениями органического вещества более 6 % и U/Th в пределах 0-20 (Дудаев, 2011).

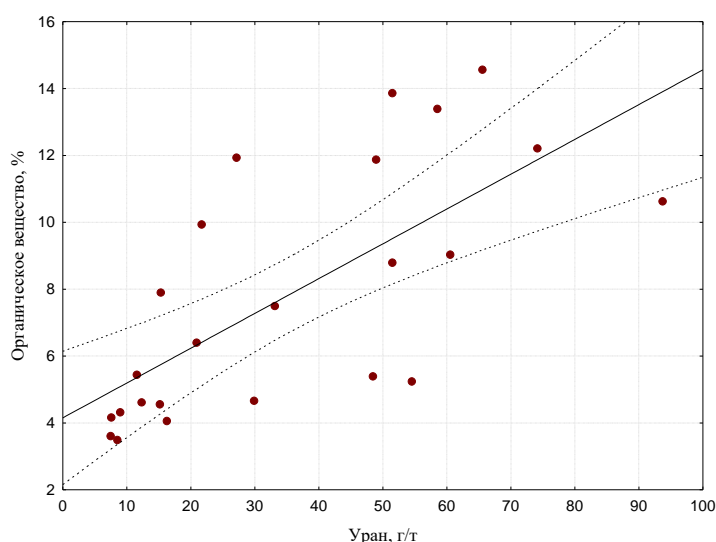


Рис. 1. Корреляция между содержанием урана и органического вещества в породах нижнетутлеймской подсвиты

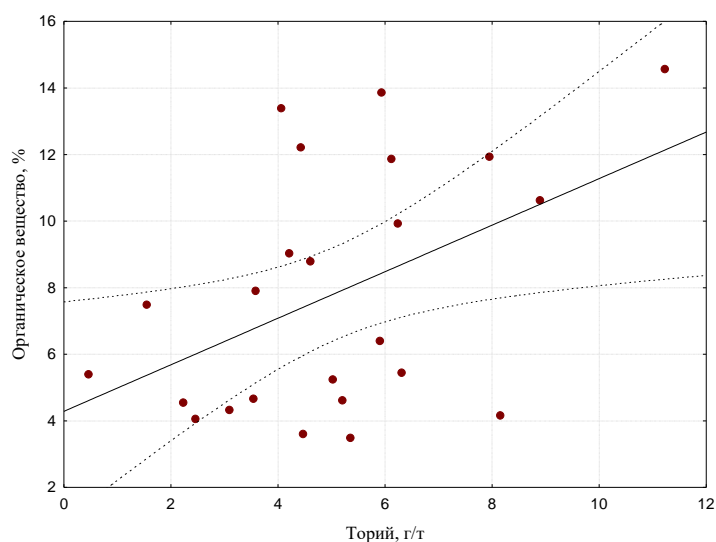


Рис. 2. Корреляция между содержанием тория и органического вещества в породах нижнетутлеймской подсвиты

Вопрос о механизмах уранонакопления в баженовской свите и ее стратиграфических аналогов до сих пор остается дискуссионным. Высокое содержание урана в породах, по мнению Ю.Н. Занина и соавторов, связано с повышенным привносом его в бассейн седиментации из кор выветривания, синхронно развивающихся на континенте, в первую очередь в области Урала (Занин, Замирайлова, Эдер, 2003). Второй причиной могла быть более медленная скорость седиментации, чем обусловлена высокая концентрация органического вещества в осадках и высоковосстановительные условия среды накопления (Занин, Замирайлова, Эдер, 2005).

Второе популярное предположение выдвинуто С.Г. Неручевым, который считал, что уранонакопление происходило биохимическим путем. Согласно этой концепции, уран поступал в живые организмы из вод морского бассейна. Содержание урана в водных растворах было весьма высокое. Периоды, когда концентрация урана в морской воде превышала кларковую, ознаменовалась С.Г. Неручевым эпохой «уранового заражения» (Неручев, 2007).

Анализ распределения естественной радиоактивности по глубине показывает, что нижнетутлеймская подсвита характеризуется повышенными концентрациями урана и пониженными концентрациями тория и калия по сравнению с вмещающими породами. По спектрометрическому гамма-каротажу наибольший вклад в естественную радиоактивность пород вносит уран, в меньшей степени торий и калий.

Величина естественной радиоактивности пород нижнетутлеймской подсвиты увеличивается снизу вверх по разрезу от 8-15 до 50-60 мкР/ч. Максимальные значения соответствуют глинисто-карбонатно-битуминозным породам (до 120 мкР/ч) и глинисто-кремнисто-битуминозным породам (до 90 мкР/ч). В целом такая же тенденция наблюдается и в увеличении концентраций урана.

Разные концентрации урана в породах можно объяснить несколькими факторами накопления (Юдович, Кетрис, 1988). Так для аргиллитов и глинисто-битуминозных пород характерны несколько повышенные скорости накопления и интенсивный привнос глинистого материала из области питания. При этом в осадок поступало меньше биогенного материала, захваченного органическим веществом, а также уменьшение степени восстановительной среды формирования отложений данного типа. Для глинисто-кремнисто-битуминозных и глинисто-карбонатно-битуминозных пород скорости накопления были низкими, и являлись благоприятными для накопления органического материала, также для накопления данных типов пород характерен переход от слабовосстановительной до высоковосстановительной среды формирования (Гурари, 1980).

На основании проведенного исследования выявлены некоторые закономерности в распределении радиоактивности пород нижнетутлеймской подсвиты, вскрытой одной из скважин в юго-западной части Елизаровского прогиба.

1. Нижнетутлеймская подсвита отличается от вмещающих пород высокими значениями естественной радиоактивности, фиксируемой на кривой гамма-каротажа, которая имеет тенденцию к увеличению от подошвы до кровли подсвиты. Наибольший вклад в естественную радиоактивность пород вносит уран, в меньшей степени калий и торий.

2. Различные типы пород отличаются разными концентрациями радиоактивных элементов, особенно урана. Эти различия, прежде всего, определяются составом подсвиты (глинистого, карбонатного, кремнистого материала и органического вещества), окислительно-восстановительными условиями формирования отложений и скоростями седиментации. Максимальные концентрации урана характерны для глинисто-кремнисто-битуминозных и глинисто-карбонатно-битуминозных пород. Концентрации тория и калия по разрезу подсвиты, в целом, имеют невысокие значения. Несколько повышенные концентрации тория характерны для глинисто-карбонатно-битуминозных пород, а калия для аргиллитов и глинисто-битуминозных пород в подошвенной части подсвиты.

3. Важной особенностью является выявление зависимости показаний концентраций урана, и соответственно гамма-каротажа, с органическим веществом. Применение данной зависимости позволит определить количественное содержание органического вещества в бескерновых интервалах.

Библиографический список

1. Гурари Ф.Г., Матвиенко Н.И. Палеогеография баженовской свиты по распределению в ней урана // Перспективы нефтегазоносности юго-востока Западной Сибири. Новосибирск: СНИИГиМС, 1980, вып. 275. С. 81-90.
2. Дудаев С.А. Петрофизические предпосылки изучения глинистых коллекторов Предкавказья по данным гамма-спектрометрии керна // НТВ Каротажник. 2011. № 6. С. 12–25.

3. *Занин Ю.Н., Замирайлова А.Г., Эдер В.Г.* Роль верхнеюрского-нижнемелового выветривания Урала в формировании отложений георгиевского и баженовского горизонтов Западно-Сибирской плиты // Вестник Томского ун-та. Серия науки о Земле, 2003. № 3. С. 257-259.
4. *Занин Ю.Н., Замирайлова А.Г., Эдер В.Г.* Некоторые аспекты формирования баженовской свиты в центральных районах Западно-Сибирского осадочного бассейна // Литосфера, 2005. № 4. С.118-135.
5. *Неручев С.Г.* Уран и жизнь в истории Земли. СПб.:ВНИГРИ, 2007.
6. *Плуман И.И.* Ураноносность черных аргиллитов волжского яруса Западно-Сибирской плиты как критерий геохимических условий осадконакопления // Геохимия, 1971. №9. С. 1138-1143.
7. *Плуман И.И.* Распределение урана, тория и калия в отложениях баженовской свиты. // Геохимия. 1975. №5. С. 756-767.
8. *Хабаров В.В., Нелепченко О.М., Волков Е.Н., Барташевич О.В.* Уран, калий и торий в битуминозных породах баженовской свиты Западной Сибири // Сов. геология, 1980. № 10. С. 94-105.
9. *Юдович Я.Э., Кетрис М.П.* Геохимия черных сланцев. Л.: Наука, 1988. 272 с.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ПРОГРАММНЫХ ПРОДУКТОВ ПРИ СОЗДАНИИ ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ ОСНОВЫ ПО ЛИСТУ Р-40-XXX

В данной статье рассмотрена совместная интерпретация данных геофизической основы с материалами ДДЗ с целью уяснить возможности использования данных снимков по различным каналам по глубине исследования и возможности уточнения геологического строения.

Ключевые слова: Геофизическая основа, магниторазведка, гравиразведка, данные дистанционного зондирования, каналы, спектрометрия, схема интерпретации, геолого-геофизический разрез.

USE OF MODERN SOFTWARE PRODUCTS WHEN CREATING A GEOPHYSICAL BASIS ON SHEET P-40-XXX

Abstract of the article: this article discusses a joint interpretation of geophysical basis data with remote sensing data in order to clarify the possibility of using these images through various channels according to the depth of the study and the possibility of refining the geological structure.

Key words: geophysical basis, magnetic exploration, gravity exploration, remote sensing data, channels, spectrometry, interpretation scheme, geological and geophysical section.

Опережающая геофизическая основа ГГК-200 масштаба 1:200 000 листа Р-40-XXX (Тохта) составлена Григорьевской ГСП ОАО «Уральская геологосъемочная экспедиция» (Пыжьянов, 2013). В административном отношении лист расположен частично в Уральском Ф.О. Свердловской области и Приволжском Ф.О. (Пермский край, Красновишерский район) (рис.1).

Площадь листа охватывает центральную часть Уральской складчатой системы, в состав которой входят комплексы пород, перспективные на выявление различных полезных ископаемых. В западной части площади известна Ишери́мская золото-вольфрамово-золоторудная минерагеническая зона, вмещающая Мартайский прогнозируемый золоторудный узел и группу рудопроявлений вольфрама, цитринов, медно-никелевых руд, см. рисунок 2. Восточнее расположена Верхнеманьинско-Синегорская железо-золоторудная минерагеническая зона, объединяющая золотые проявления в ордовикских толщах зоны Главного Уральского разлома. Наибольшей рудоносностью отличается Западно-Тагильская ванадиево-титаноносная платино-железо-меднорудная минерагеническая зона, включающая Тарньерско-Шемурский меднорудный узел и Саум-Владимирский меднорудный узел прогнозируемый, а также меднорудные (Шемурское и Тарньерское) и железорудные (3-й Северный рудник) месторождения и проявления, проявления хромитов, золота. На исследуемой территории известны россыпные месторождения и проявления золота, наиболее крупные из которых приурочены к долинам реки Велс.



(Яхтельинское, Саумское проявления, Тарньерское и III Северное месторождения). В настоящее время актуальным является вопрос о переоценке прогнозных ресурсов региона, в пределах которого расположен лист Р-40- XXX, и выделении перспективных участков для проведения поисковых работ.

Анализ материалов аэро и наземных магнитометрических работ позволяет сделать вывод, что лист Р-40-XXX полностью покрыт аэромагнитными работами средней и высокой точности, включая обрамление в пределах листа масштаба 1:50000, наземными работами средней точности покрыто примерно 85% площади листа. Исходя из этой характеристики, сделан вывод о создании матрицы листа полностью на основе данных аэромагнитных материалов. Материалы наземной съемки рекомендованы для детализации геологосъемочных работ. Аэромагнитные съемки на лист Р-40-XXX позволят с высокой степенью детальности расчленить вулканогенные осадочные и интрузивные образования, проследить тектонические нарушения, выделить ореолы рудоносных серицит-кварцевых метасоматитов, обогащенных калием.

В 1962-68 гг., в пределах силурийских вулканогенно-осадочных образований перспективных на медно-колчеданные и скарно-магнетитовое оруденение, выполняются гравиметрические съемки масштаба 1:50 000 в комплексе с металлометрией (Петухов В.П., 1962-68 гг.). Выделены комплексные аномалии, при проверке которых выявлены Саумское, Владимирское, Тошемское, Яхтельинское медно-колчеданные проявления, Тарньерское медно-цинковое месторождение. В 1966 г. С.А. Тагановым проводилась гравиметрическая съемка масштаба 1:200 000 по сети 4х1 км, на площади, включающую в себя лист Р-40-XXX.

Геофизические работы являются доминирующими при поисковых работах на медноколчеданное оруденение. Практически вся полоса зеленокаменных пород силура шириной 20-30 км от Саумско-Яхтельинской рудоперспективной структуры на севере до Шемурско-Шегультанской на юге покрыта комплексными геофизическими съемками масштаба 1:25000-1:10000. Комплекс работ включает в себя гравиразведку по сети 500-200х50м, магниторазведку 100х25м, электроразведочные методы ВП, МПП, ВЭЗ, РИЗ в площадном и детализационном вариантах, часто с литогеохимическими поисками. При проверке аномалий открыто Ново-Шемурское месторождение (южнее изучаемой площади) и ряд рудопроявлений, выделены перспективные участки на медное и скарново-магнетитовое оруденение.

На ряде планшетов в помощь геокартированию выполнялась гравиметрическая съемка масштаба 1:50000. С начала 1970-х гг. начинается планомерные изучения Тагильского прогиба сейсморазведкой МОВ в комплексе с гравиразведочными и магниторазведочными наблюдениями по серии профилей (Колечин, 1971-85 гг.). В результате построены геолого-геофизические разрезы масштаба 1:25000 до глубин 8-10 км.

При составлении Государственной гравиметрической карты масштаба 1:20000, составленной в 1975 году Центральным геофизическим трестом (протокол 1975 г) и изданной в 1976 г (составитель Шестак М.А., ред. Юрковецкая Т.Л.) в карту вошли съемки Таганова С.А. и Хинич М.И, выполненные полистно для Пермской и Свердловской области в период с 1962 по 1968 годы. Для

создания Гравиметровой карты, использован авторский вариант Ястребова М.К. и оцифрованный Радивиловой Т.П. в 2003 г. Цифровой макет данных использован для создания цифровой матрицы по сети 100*100 в условном уровне по листу Р-40-XXX, по материалам отчета (Ананьева, Горонович, 1974;).

На лист Р-40-XXX имеется схема физических свойств определения плотности горных пород и магнитной восприимчивости по образцам (Степанов и др., 1997). В настоящий момент схема дополнена данными, взятыми из отчетов (Аблизин; Алексеев, Попов, 1982; Киркин, Нестеров, 1969; Клименко, Лычников, Малков; Курбацкий А.М., Шимановский). На основе этих данных создан геолого-геофизический разрез и схемы предварительной комплексной интерпретации физических полей.

Таким образом, геофизические исследования, ранее проведенные на площади листа Р-40-XXX, обеспечивают геофизическую основу для картосоставительских работ масштаба 1:200 000 и выделения прогнозно-поисковых участков масштаба 1:50000.

Для приведения всех матриц съемок разных лет, к нормальному полю (1965 года), за основу была выбрана матрица материалов Чурсина А.В., в которой выполнено приведение цифровых материалов к нормальному полю 2000 г и имеются цифровые данные в первичных материалах по этому полю. Разница между нормальными полями 2000 года и 1965 года на точках, где совмещены изолинии, составила 350 нТл. Эта разница была учтена в цифровых данных материалов Чурсина и далее по смежным листам, где учет проводился по совпадавшим изолиниям смежных матриц. Таким образом, составлена цифровая матрица с обрамлением в размере листа масштаба 1:50000 с шагом 100x100 метров (рис. 3).

Составление цифровой модели гравиметрической карты масштаба 1:200 000 проводилось на основе листа Р-40-XXX Государственной гравиметрической карты масштаба 1:200 000 (ГГК-200), подготовленной в Баженовской геофизической экспедиции. Карта издана в 1975 году. Данная работа послужила исходным материалом для создания цифровой модели поля силы тяжести (ЦМП) с использованием современных компьютерных технологий. Сведения об использованном гравиметрическом материале приводятся в геологическом отчете (Клименко, Лычников, Малков). Материалы Государственной гравиметровой карты дополнены крупномасштабными съемками Петухова В.П. (1962-68 гг) и Еремеева А.И. (1978-81 гг). Цифровая модель данных выполнена в рамках выполнения работ по листу Р-40-XXXX Ястребовым М.К. и Радивиловой Т.П. (Прогнозно-поисковые работы..., 2004)

Для создания матрицы и карты экспоненциальной мощности гамма-излучения взяты кондиционные материалы полевых работ масштаба 1:50000, проведенные в период с 2004 г. по 2009 г. (Чурсин А.В.) на листах Р-40-108 и Р-40-120. По рассчитанным матрицам получены карты изолиний радиометрических полей – тория, урана, калия, мощности экспозиционной дозы гамма-излучения (МЭД). (Чурсин, 2009). По материалам гамма-съемки составлена карта мощности экспозиционной дозы гамма-излучения (рис. 4).

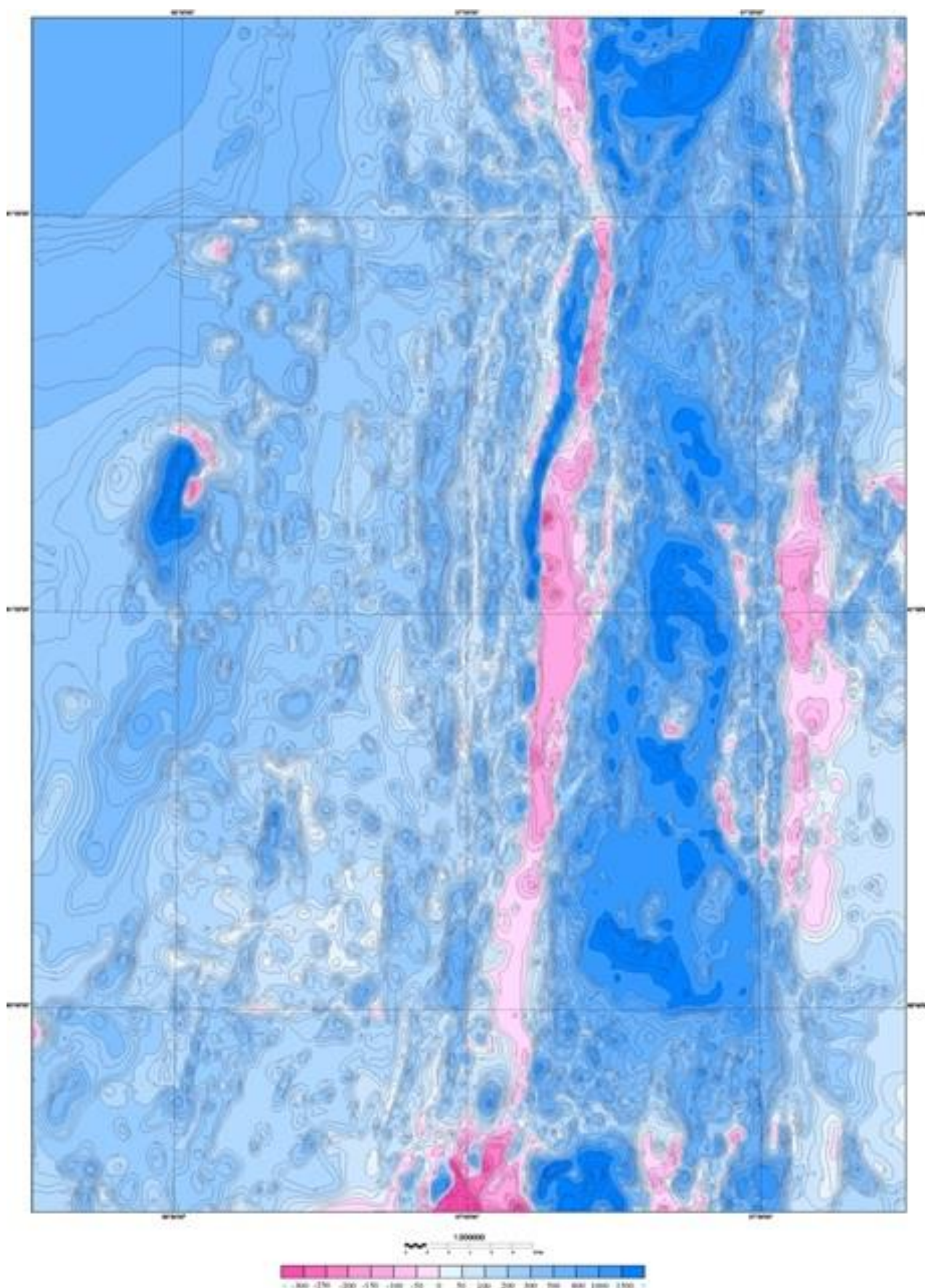


Рис. 3. Карта аномального магнитного поля. Нормальное поле эпохи 1965 г.

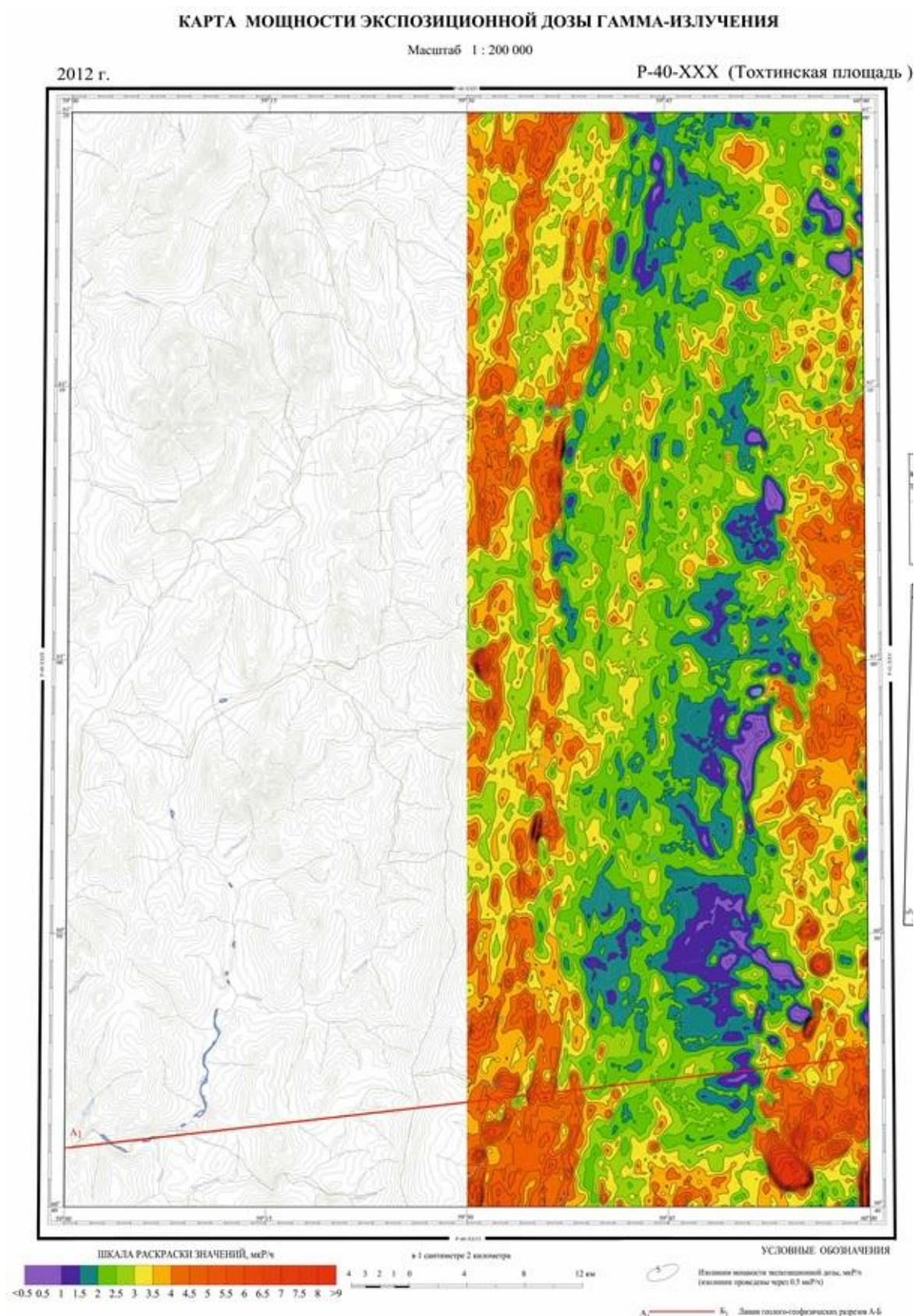


Рис. 4 Карта мощности экспозиционной дозы гамма-излучения

Для расчета и построения карт-трансформант проводились различные преобразования исходных данных. Обработка геофизических материалов выполнялась по программе обрабатывающей системы ГИС INTEGRO в подсистеме “Геофизика 2Д”.

Разделение геофизического поля на составляющие позволяет выделять компоненты, изменчивость которых преимущественно связана с интересующими характеристиками геологических объектов – интенсивностью свойств, размером, формой, глубиной залегания. Вычисление локальной и региональной составляющих гравиметрического и магнитного полей с радиусом осреднения 300 м (рис. 5) производилось в программе ГИС INTEGRО с использованием модуля «Геофизика».

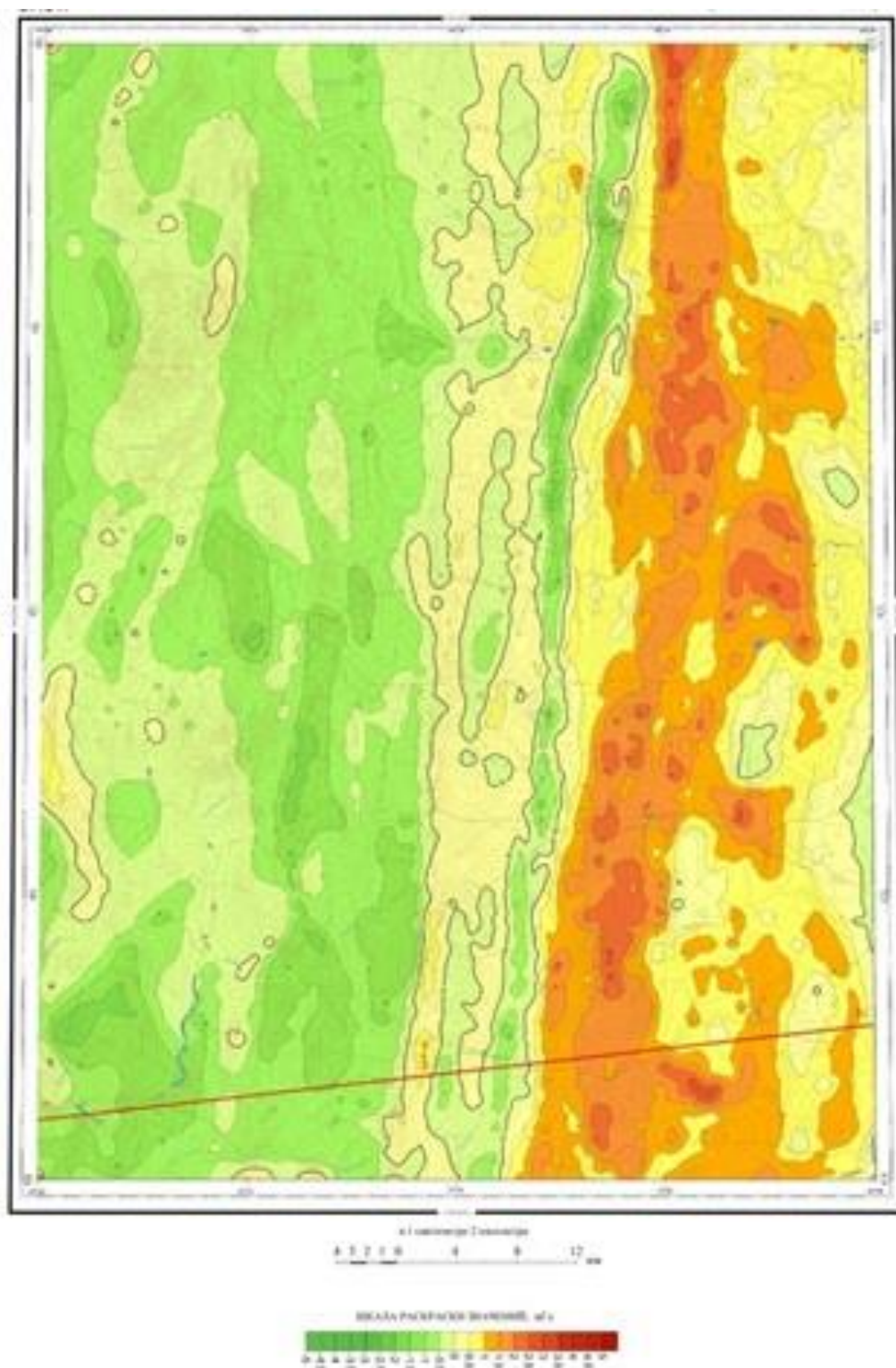


Рис. 5 Карта локальной составляющей поля силы тяжести.

По матрицам содержаний естественных радиоактивных элементов (ЕРЭ) на восточную часть планшета вычислены бинарные отношения (Th/U , $\ln\text{Th}/\text{U}$). Построение карт-трансформант выполнено в масштабе 1:200000 с использованием программного пакета Surfer 11. Данная работа выполнялась под руководством Чурсина А.В. (ЗАО УГЭ) для листов Р-40-108 и Р-40-120 (Чурсин, 2009).

Для построения схемы предварительной комплексной интерпретации геофизических материалов (рис.6) использованы схемы районирования физических полей. Районирование выполнено в программе Гис Интегро с использованием алгоритмов обратные вероятности и коэффициент корреляции Спирмена. Процедура обратные вероятности позволяет обнаружить слабые аномалии заданной конфигурации в плане и известной формы на фоне помех с нормальным или близким к нему законом распределения помехи. Используется для картирования объектов известной формы (элементы тектоники, кольцевые и изометричные структуры, контакты) в тех случаях, когда поведение поля над ними известно, либо, когда можно сделать несколько предположений о его характере, и формировать признаковое пространство при решении классификационных и прогнозных задач.

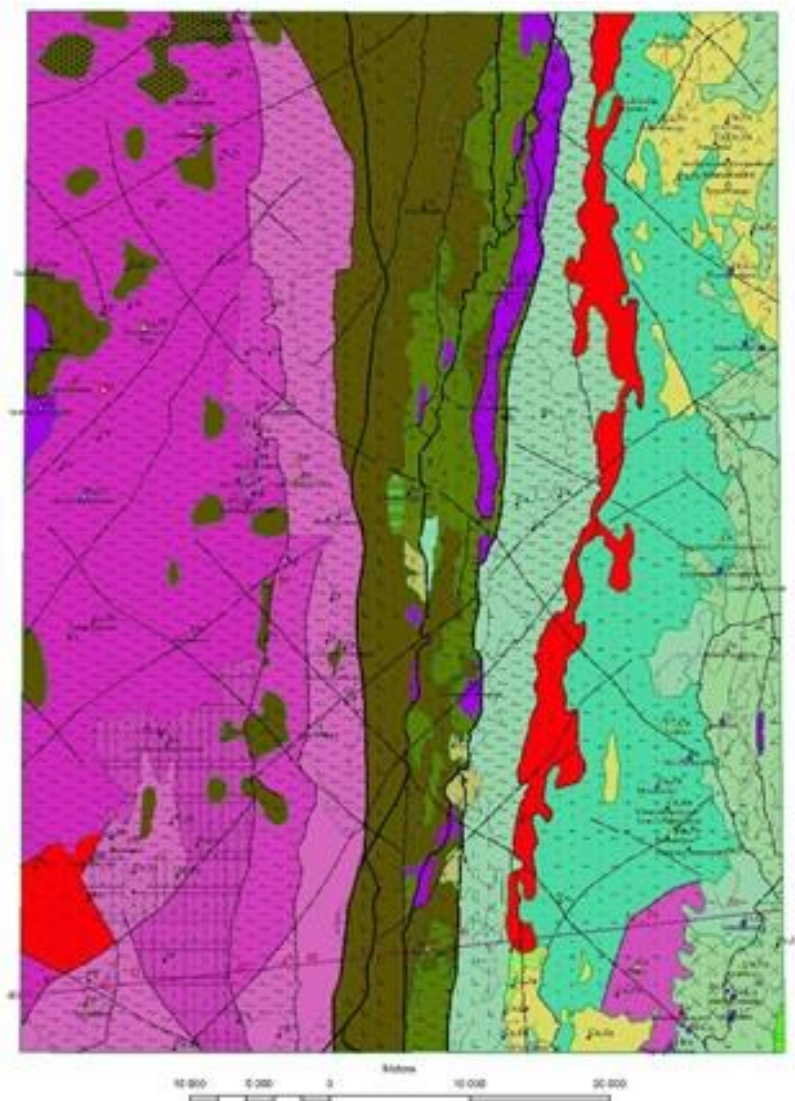


Рис. 6 Схема интерпретации

Материалы физического районирования представлены в полигональной теме, используемой для контуров геологических объектов и в линейной теме, которая может являться аппроксимацией тектонических нарушений, геологических границ, деталей геологического строения внутри геологических контуров. Для разделения физических полей районирования выполнена кодировка атрибутивных таблиц покрытий, для каждой записи покрытий, что позволило в дальнейшем использовать кодировку для контуров, выделенных по сумме полей физического районирования и по отдельности. Для совмещения покрытий полигональных тем использована ГИС ArcGis (лицензия ArcInfo), в частности модуль Workstation Tools. Это позволило использовать функции географического анализа (модуль Overlay). Задача Identity позволяет получить общие площади пересечений разных покрытий полигональных тем с сохранением атрибутивных данных. Результатом является схема контуров с элементами районирования. Результат этой работы осложняется получением осколочных полигонов малой площади. Для исключения этих полигонов, путем присоединения к полигонам большей площади, была использована задача создания топологически совмещенных покрытий функцией Eliminate - модуль Workstation Tools, что позволило получить более реалистичную картину и исключить дробление схемы на мелкие контуры.

Для получения геологической характеристики контуров функции географического анализа (модуль Overlay), задача Identity - для совмещения полигональных и точечных тем с сохранением атрибутивных таблиц обоих покрытий. База данных физических свойств представляет собой точечную тему, для части которой есть геологическое описание образцов. В силу того, что база данных физических свойств горных пород является на этот момент неполной, то есть на часть базы нет геологических анализов, часть контуров схемы носит условный характер и их природа определена по характеристикам полей физического районирования, совпадающих с контурами, на которые есть определение геологической природы. Для разделения схемы контуров по геологическим подразделениям (рис.7) использована таблица физических свойств (Степанов и др., 1997).

	Именновская свита. Известняки, базальты, андезитобазальты, андезиты, дациты, риодациты, трахитобазальты, туфобрекчин, туфопесчанники, туффиты, алевролиты
	Павдинская свита. Базальты, дозериты, андезитобазальты, андезиты, андезидациты, дациты, риодациты, трахиты, их туфы, брекчин, туфопесчанники, известняки
	Шемурская свита. Доцериты, базальты, андезитобазальты, андезиты, дациты, риодациты, риолиты, их туфы, туфобрекчин, яшмовиды, туфопесчанники, известняки, колчеданные руды
	Польинская свита. Доцериты, базальты, дациты, риолиты, сланцы углеродистые, альбит-хлоритовые, альбит-актинолит-эпидотовые
	Хомасьянская свита. Сланцы стиломелан-кроссит (актинолит)- альбит-эпидотовые, кварцитопесчанники, гравелиты, метаморфизованные базальты и туффиты
	Саранхапперская свита. Кварцитопесчанники, гравелитопесчанники, слюдяные кварциты, сланцы хлорит-мусковит-кварцевые, метадоцериты, metabазальты
	Чувальская свита. Метаморфизованные базальты, их туфы, сланцы хлорит-серпент-кварцевые, углеродисто-хлорит-серпент-кварцевые, известняки, кварцитопесчанники
	Веловская свита. Доломиты, известняки, сланцы хлорит-серпент-кварцевые, филлиты, кварцитопесчанники
	Иштермская свита. Кварцитопесчанники, кварциты, гравелиты, конгломераты, сланцы углеродисто-серпент-кварцевые, серпент-кварцевые, кварцитопесчанники
	Мойвинская свита. Известняки, доломиты, мраморы, сланцы альбит-серпент-кварцевые, углеродисто-хлорит-серпент-кварцевые, кварцитопесчанники
	Северорудничный комплекс габбро-диорит-плагногранитовый
	Тагало-кытлымский комплекс габбро-диоритовый
	Границы между разновозрастными геологическими образованиями - достоверные
	Границы между разновозрастными геологическими образованиями - предполагаемые
	Границы фацональных и литологических подразделений одного и того же возраста
	Разрывные нарушения - достоверные
	Разрывные нарушения - предполагаемые

Рис. 7 Геологическая легенда

Использование базы данных физических свойств позволило выделить литологический состав пород для части контуров, достаточно геологически апробированных. Для решения задачи использован модуль MapDisiner (ГИС ArcGis) и эталонная база условных знаков (разработки ВСЕГЕИ). Материалы линейных тем (линияменты) использованы для выделения тектонических, разрывных нарушений, геологических границ с использованием наиболее совмещенных линияментов полученных по всем полям районирования физических полей.

Для создания геолого-геофизического разреза использована программа Oasis, которая включает: GM-SYS программа моделирования. По матрицам магнитного, гравитационного полей и рельефа местности на лист Р-40-XXX по линии профиля А1-В1, который совпадает с линией ранее проведенных сейсморазведочных работ Дружинина В.С. из Баженовской геофизической экспедиции (линия СР 80-89), выполненных в 1987 году методом отраженных волн, выполнен расчет геофизического разреза. За основу были взяты точки с плотностью горных пород, находящиеся вблизи линии профиля, а также были проанализированы геологические разрезы ранее проведенных геологосъемочных работ. Результаты подбора показаны на рис. 8.



Рис. 8 Геолого-геофизический разрез

В настоящий момент на площадь имеется база данных, состоящая из 3000 образцов, для которых имеются определения физических свойств, таких как плотность и магнитная восприимчивость, а также геологическое описание. Кроме того, в результате ранее проведенных работ (Степанов и др., 1997), были обобщены результаты физических свойств. На основании обобщения уточнены - геологическое строение и границы, условия залегания, вещественный состав следующих свит и комплексов. Материалы предварительной схемы комплексной интерпретации физических полей позволяют определить задачи и направление геологосъемочных работ по данному листу, в частности, исследование северной части листа, где практически не отобран геологический материал. Перспективной на обнаружение медно-колчеданного оруденения, можно считать зону, вытянутую в меридиональном направлении, от южной рамки листа. Результат построений показан на рис. 6.

Библиографический список

1. *Аблизин Б.Д.* Геологическая карта Урала масштаба 1:50000 (листы Р-40-106-Г и Р-40-107-В)
2. *Ананьева Е.М., Гороневич Е.Б.* Отчет о результатах обобщения и анализа геофизических материалов по отдельным рудным узлам Тагильского мегасинклинория. 1974 г.
3. *Алексеев В.Я., Попов И.Б.* Отчет о геологической съемке масштаба 1:50000 листов Р-40-107-Г, Р-40-108-А (западная половина) и геологическом доизучении масштаба 1:50000 листа Р-40-108-В (западная половина) в бассейне рек Велса и Вижая на Северном Урале, в Ивдельском районе Свердловской области и Красновишерском районе Пермской области за 1976-1982 годы. Инв. № ТГФ 37088.
4. *Киркин Э.В., Нестеров М.И.* Отчет по результатам геолого-геофизических работ, проведенных Шегульганской ГПП и Серовской ГП в Северной части Западного рудоносного пояса в 1967-1969 годах.
5. *Клименко Б.В., Лычников В.А., Малков К.И.* Геологическая карта Урала масштаба 1:50000 (листы Р-40-119-В и Р-40-119-Г). Инв. № ТГФ 32431.
6. *Курбацкий А.М., Шимановский В.А.* Геологическая карта Урала масштаба 1:50000 листы Р-40-119-А, Р-40-119-Б. Инв. № ТГФ 030591
7. *Степанов А.Е., Веприков С.Е., Суслов А.П. и др.* Информационный отчет по геологическому доизучению масштаба 1:200000 и подготовке к изданию Госгеолкарты-200 (новая серия) листов Р-40-XXX, Р-41-XXV Среднеуральской серии (Ивдельская площадь). Отчет Ивдельской ГСП за 1994-1997 гг. Екатеринбург, 1997
8. *Чурсин А.В.* Геологический отчет по объекту: «Геофизические поиски масштаба 1:50000 для локализации новых рудных районов (узлов) и полей в северной части Западно-Тагильской мегазоны». Екатеринбург, 2009. Инвентарный номер в ТГФ 45505).
9. *Прогнозно-поисковые работы на благородные металлы (золото, платина) на площади листов Р-40-XXX, Р-40-XXXVI (Средний и Северный Урал).* Сбор, хранение, систематизация и использование первичных геологических материалов для обеспечения региональных и прогнозно-поисковых работ Урала" за 2001-2004 гг.
10. *Пыжьянов Ю.Б.* Объяснительная записка к Геофизической основе Государственной геологической карты Российской Федерации Масштаб 1:200000 Лист Р-40-XXX (Тохта). Екатеринбург 2013

Л. Д. Плешков, А. Д. Бурмистров, В. И. Костицын, В. А. Гершанок
ПГНИУ, levpleshkov@gmail.com

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ СКАНИРУЮЩЕГО АКУСТИЧЕСКОГО КАРОТАЖА ДЛЯ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ КОЛОННЫ СКВАЖИН

На примере четырех скважин выполнена оценка качества эксплуатационных колонн, выделены интервалы со сплошным и частичным контактом цементного камня и эксплуатационной колонны, интервалы с отсутствием контакта. В случае сплошного контакта с обсадной колонной был определен тип контакта цементного камня с горной породой (сплошной, частичный контакт или отсутствие контакта).

Ключевые слова: волновой акустический каротаж, обсадная колонна, эксплуатационная колонна, волновая акустическая цементометрия, оценка качества цементирования, физико-механические свойства

POSSIBILITIES OF SCANNING ACOUSTIC LOGGING FOR EVALUATING THE STATE OF A WELL CASING

On the example of four wells, the quality of well casing was assessed, intervals with continuous and partial contact of cement stone and production casing, intervals with no contact were identified; in case of continuous contact with the casing string. The type of contact of the cement stone with the rock was determined (solid, partial contact or lack of contact).

Key words: acoustic logging, well casing, cementing quality assessment, physical and mechanical properties

Цементирование обсадных колонн является важнейшей операцией при строительстве нефтяных и газовых скважин. От качества ее выполнения зависит успешность освоения и последующая производительность скважин. Контроль состояния цементного кольца в затрубном пространстве обеспечивает выявление дефектных интервалов, дает информацию для принятия обоснованных решений по устранению заколонных перетоков, стимулирует повышение качества работ и совершенствование технологии крепления скважин. Не менее важен контроль целостности цементного кольца за колоннами в ходе эксплуатации скважин, что способствует выявлению причин образования дефектов и выработке стратегии их ликвидации.

Акустический метод контроля качества цементирования позволяет определить состояние контактов цемента с колонной и породой, оценить его прочностные характеристики и, в итоге, степень надежности изоляции затрубного пространства. Метод основан на изучении преломленных, отраженных волн и полной энергии волнового пакета.

Целью интерпретации диаграмм акустической цементометрии (АКЦ) является получение сведений о наличии и состоянии цементного кольца по всему зацементированному интервалу колонн большого диаметра (кондуктора, технической колонны). При этом должны быть определены высота подъема цемента на конечной стадии формирования цементного кольца, состояние контактов цементного кольца с колонной и горными породами. При интерпретации привлекаются все регистрируемые кривые АКЦ:

- амплитуда (A_k) P -волны по короткому и длинному зондам (AK_1, AK_2);
- коэффициент эффективного затухания (α_k) P -волны по колонне (ALFAK);
- значение интервального времени (ΔT) распространения P -волны (DTP);
- значение времени распространения P -волны по короткому и длинному зондам (T_{P1}, T_{P2}).

При средних значениях A_k (0.3–0.8 от максимального) и при значении коэффициента эффективного затухания α_k волны по колонне от 5 до 30 дБ/м контакт считается частичным. Минимальная величина амплитуды A_k (не менее 0.7–0.8 от максимального значения) обусловлена наличием сплошного и жесткого контакта цемента с поверхностью колонны и горной породы. При жесткой связи

цементного кольца с колонной и горной породой на кривых T_{P1} , T_{P2} , DTP отражается геологический разрез, таким образом можно провести полную корреляцию с методами открытого ствола (РК, АК). Значение коэффициента эффективного затухания α_k волны по колонне составляет более 30 дБ/м. Резкое изменение кривой A_k свидетельствует о переходе от свободной колонны к ее участку с цементным камнем.

В приборах акустической цементометрии используются короткие трёхэлементные измерительные зонды с расстоянием между ближайшими излучателем и приёмником от 0.7 до 1.5 м и базой зондов (расстояние между приёмниками) — в пределах 0.3–0.6 м. Расстояние между приемниками (база S) характеризуют разрешающую способность зонда, чем меньше база, тем более тонкие слои могут быть выделены на диаграммах АКЦ. Середина является точкой записи.

Измерения в скважинах $Y1$, $Y2$, $Y3$, $Y4$ проводились модулем акустического каротажа интегрально-сканирующего МАК-9-СК. В состав прибора входят зонд интегрального каротажа И1 1.0 П1 05 П2 и 8 сканирующих пар источников и приемников, расположенных по 45-градусным секторам (И1–8) 0.4 (П1–8). Прибор работает на высокой частоте 100 кГц. Данные исследований обработаны с помощью программного комплекса «Соната».

В интервалах 998.0–1193.0, 1346.0–1382.0, 1461.0–1471.0 м скважины $Y1$ отмечается децентрация прибора (рис. 1), что, по-видимому, связано со скважинными условиями (предположительно, большой угол наклона скважины или загрязнение: на стенках может быть парафин).

Замер АКЦ-С (акустическая сканирующая цементометрия) в скважине $Y2$ проводился непосредственно сразу после цементирования колонны. Плохое качество цементирования могло быть связано с тем, что прошло недостаточное количество времени для формирования цементного кольца (рис. 2). Повторный замер проводился для уточнения качества цементирования в интервале детальных исследований по прошествии времени ОЗЦ (ожидания затвердевания цемента). На развертке повторного замера АКЦ-С видно, что качество цементирования не изменилось.

В интервалах 368.0–432.0, 476.0–598.0, 848.0–978.0, 1532.0–1620.0 м скважины $Y3$ отмечается децентрация прибора, что, по-видимому, связано со скважинными условиями (предположительно, большой угол наклона скважины или загрязнение: на стенках может быть парафин). В интервале 1610.0–1680.0 м произведена повторная запись прибором МАК-9-СК (запись дублер). Результаты интерпретации записи дублера коррелируются с основной записью, ФКД записи дублера сопоставимы с ФКД основной записи. По результатам сравнения двух записей можно сделать вывод, что прибор работает исправно и стабильно.

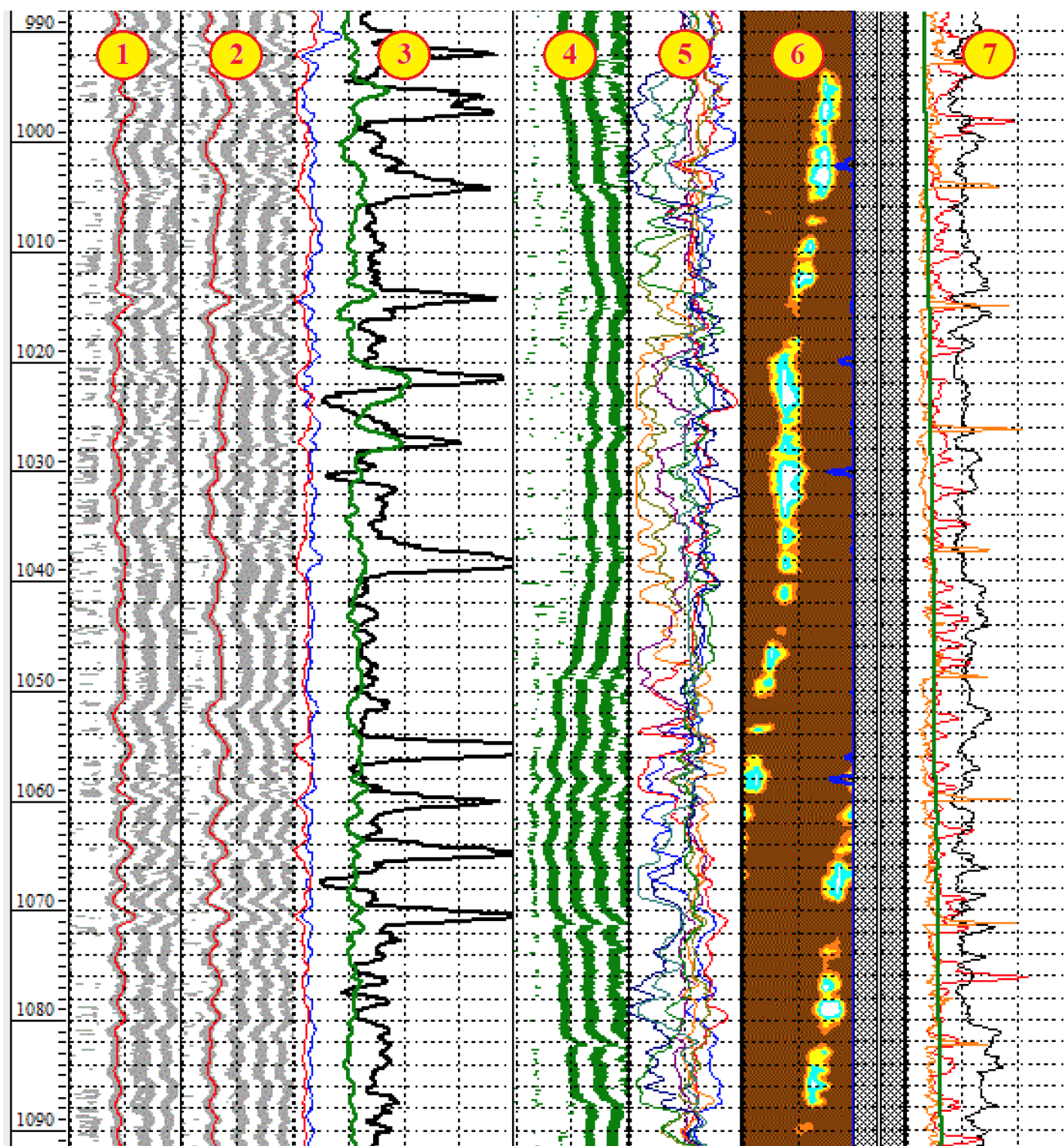


Рис. 1. Фрагмент каротажной диаграммы ВАК-Ц (волновая акустическая цементометрия). Треки 1 и 2 — ФКД продольной волны на малом и большом интегральных зондах прибора, 3 — параметры затухания волн, 4 — ФКД одного из приемников сканирующего зонда прибора, 5 — коэффициенты затухания продольной волны, рассчитанные для каждого приёмника сканирующего зонда, 6 — азимутальные развёртки коэффициентов качества цементации, 7 — естественная радиоактивность и локатор муфт.

В интервале двойной колонны скважины У4 характер сцепления цементного камня определяется только с ближней колонной, в данном случае — с эксплуатационной. Оценить характер сцепления цементного камня с породой в интервале двойной колонны не представляется возможным ввиду физических особенностей метода. В интервале одинарной колонны (ниже глубины спуска колонны-кондуктора) характер сцепления цементного камня с породой определя-

ется только в интервалах сплошного контакта с колонной. В интервалах частичного контакта и плохого (отсутствия) контакта с колонной, характер сцепления цементного камня с породой не определяется.

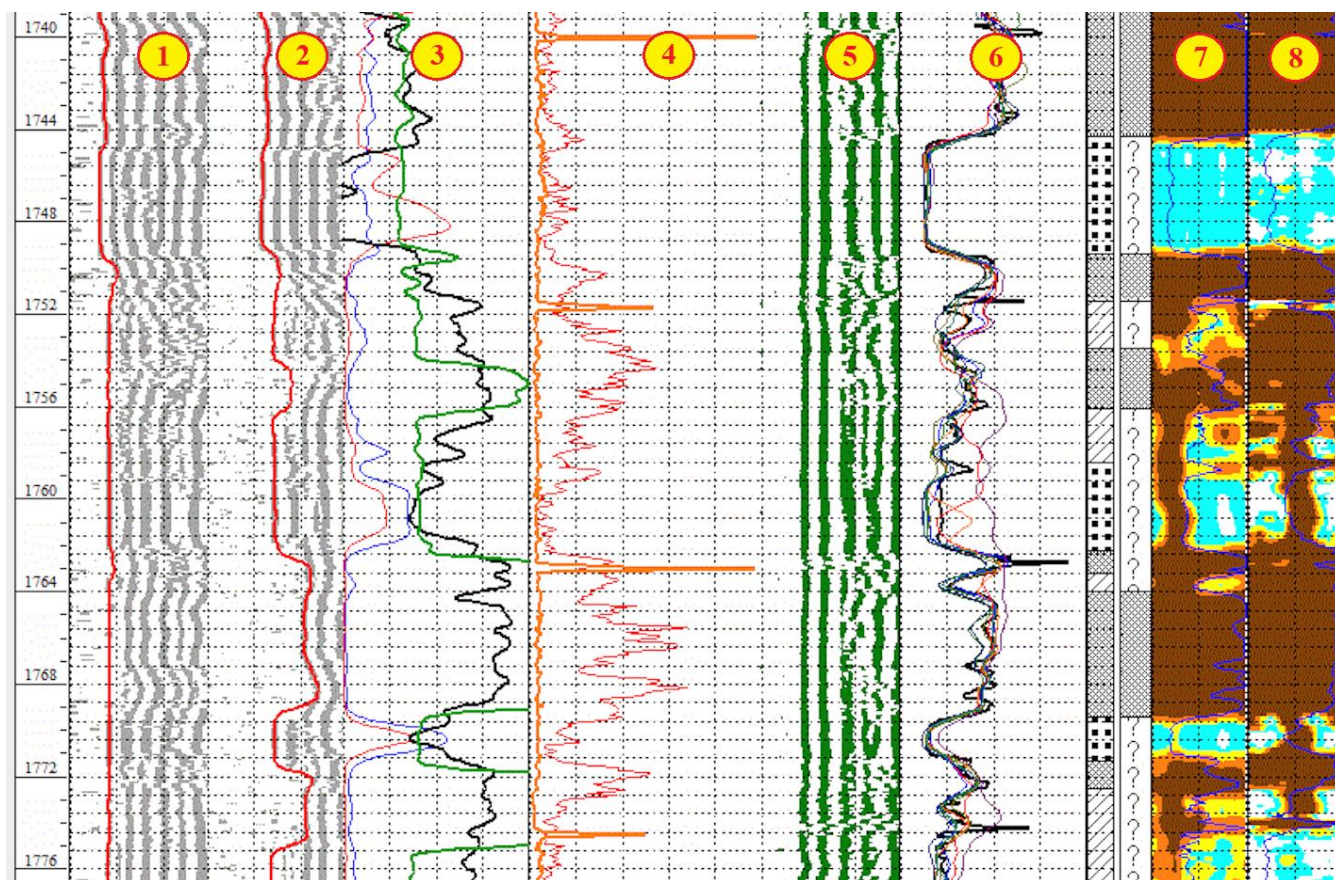


Рис. 2. Фрагмент каротажной диаграммы ВАК-Ц. Треки 1 и 2 — ФКД продольной волны на малом и большом интегральных зондах прибора, 3 — параметры затухания волн, 4 — естественная радиоактивность и локатор муфт, 5 — ФКД одного из приемников сканирующего зонда прибора, 6 — коэффициенты затухания продольной волны, рассчитанные для каждого приёмника сканирующего зонда, 7 и 8 — азимутальные развёртки коэффициентов качества цементации, полученные по первому и повторному измерениям

Библиографический список

1. Губина А. И., Гуляев П. Н. Геофизические методы исследования скважин. Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь: Книжный формат, 2016. 281 с.
2. Итенберг С. С. Интерпретация результатов геофизических исследований скважин. М., Недра, 1987. 389 с.
3. Косков В. Н. Решение геологических задач методами ГИС. Пермь: Перм. нац. исслед. политехн. ун-т, 2014. 109 с.
4. Кривоносов Р. И. Пластовая наклонметрия скважин. М.: Недра, 1988. 168 с.
5. Костицын В. И., Хмелевской В. К. Геофизика. Пермь, Перм. ун-т, 2018. 428 с.
6. Руководство по эксплуатации. Модуль акустического каротажа интегрально-сканирующий МАК-9-СК / ОАО «НПФ «Геофизика» ВНИИнефтепромпгео-физика. 29 с.
7. РД 153-39.0-072-01. Техническая инструкция по проведению геофизических исследований и работ приборами на кабеле в нефтяных и газовых скважинах. 2001. 280 с.

АДАПТИВНЫЙ АЛГОРИТМ РАЗЛОЖЕНИЯ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ НА СОСТАВЛЯЮЩИЕ

Предлагается алгоритм разложения профильных измерений геофизических полей (сигналов) по адаптивному базису. В ходе итерационного процесса выделяются ортогональные разночастотные компоненты нестационарного сигнала, близкие к эмпирическим модовым функциям (IMF). В отличие от EMD, для построения верхних и нижних огибающих сигнала используются кусочно-постоянные функции с возрастающей в геометрической прогрессии длиной интервалов аппроксимации. Выполняется сглаживание локальных средних значений сигнала гармоническими функциями, параметры которых определяются в результате решения хорошо обусловленных систем линейных алгебраических уравнений. Отличительной особенностью алгоритма является подавление краевых эффектов и смешивания мод, в ряде случаев осложняющих применение метода EMD. Приведен практический пример применения алгоритма в области магниторазведки.

Ключевые слова: алгоритм, сигнал, адаптивный базис, составляющая, аппроксимация, гармоническая функция, ортогональность, геофизические данные.

ADAPTIVE DECOMPOSITION ALGORITHM GEOPHYSICAL FIELDS ON COMPONENTS

An algorithm is proposed for decomposing profile measurements of geophysical fields (signals) along an adaptive basis. During the iterative process, orthogonal different-frequency components of an unsteady signal that are close to empirical mode functions (IMF) are distinguished. In contrast to EMD, piecewise constant functions with an exponentially increasing length of the approximation intervals are used to construct the upper and lower envelopes of the signal. The local mean values of the signal are smoothed out by harmonic functions whose parameters are determined by solving well-defined systems of linear algebraic equations. A distinctive feature of the algorithm is the suppression of edge effects and mode mixing, which in some cases complicate the application of the EMD method. A practical example of the application of the algorithm in the field of magnetic exploration is given.

Key words: algorithm, signal, adaptive basis, component, approximation, harmonic function, orthogonality, geophysical data

Метод эмпирической модовой декомпозиции (Empirical Mode Decomposition – EMD) был предложен Норденом Хуангом в 1995 году (Huang N.E. et al, 1998). Он является важнейшей составляющей преобразования Гильберта-Хуанга (Huang-Hilbert Transform - ННТ), получившего широкое применение в различ-

ных областях науки и техники, в т.ч. и прикладной геофизике (перечень некоторых работ можно найти в (Долгаль, Христенко, 2017)). Большинство геофизических полей не обладают свойством стационарности, т.е. отмечается естественное изменение их статистических характеристик в пространстве (Dremin et al, 2001; Никитин, Петров, 2008). EMD в силу использования адаптивного базиса может широко применяться для анализа нестационарных данных, т.е. является более адекватным геофизической практике, чем многие из известных методов обработки сигналов.

В методе EMD предполагается, что анализируемый сигнал $U(x)$ 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).

Таким образом, значения $U(x)$ геофизического поля (сигнал), полученные в k точках наблюдений на профиле с постоянным шагом Δx можно представить в виде суммы нескольких IMF ψ и остатка r :

$$U(x) = \sum_{i=1}^m \psi_i(x) + r(x) \quad (1)$$

Происходит разложение сигнала 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). В вычислительном процессе (1) многократно используется построение огибающих сигнала $p(x)$ и $q(x)$ по максимумам и минимумам, соответственно. Для этой цели широко применяются различные сплайны, возможно также проведение истокообразной аппроксимации, предложенное авторами ранее (Долгаль и др., 2019). Однако до сих пор остается актуальной проблема наличия искажений в краевых частях сигнала (Давыдов, Давыдов, 2011; Павловичев и др., 2013; Влацкая и др., 2019), где требуется осуществлять экстраполяцию функций $p(x)$ и $q(x)$, точность которой в ряде случаев может быть недостаточной.

Следует заметить, что гармоническое представление огибающих сигнала $U(x)$ и его компонент $\psi(x)$ не снимает полностью эту проблему. Расстояния между экстремумами этих функций могут очень сильно варьировать, что приводит к очень плохим числам обусловленности системы линейных алгебраических уравнений (СЛАУ), определяющей параметры аппроксимации. Можно полностью согласиться с мнением В.И. Аронова о неоднозначности и неустойчивости решения задач интерполяции при неравномерной сети исходных данных, аналогичной многим некорректным задачам математической физики (Аронов, 1990).

В данной работе предлагается новый алгоритм разложения сигналов на составляющие вида (1), использующий априорные ограничения на спектральный состав функций $\psi(x)$, близких к IMF, но не являющихся таковыми. Далее будем называть их модифицированными модовыми функциями (modified mod function - MMD). В этом алгоритме используется кусочно-постоянное представление огибающих $p(x)$ и $q(x)$ при рассмотрении исходного сигнала $U(x)$ в серии последовательно расширяющихся окон, как при кратномасштабном вейвлет-преобразовании (FWT). Это делает процесс разложения более управляемым и устойчивым, но уменьшает точность получаемых результатов в высокочастотной области. Нужно добавить, что попытки управления процессом EMD при анализе данных каротажа предпринимались ранее (Давыдов, Давыдов, 2010). Описание алгоритма проведем на конкретном примере, где в роли $U(x)$ будут использованы результаты высокоточных аэромагнитных наблюдений, выполненных в Восточной Сибири (рис. 1).

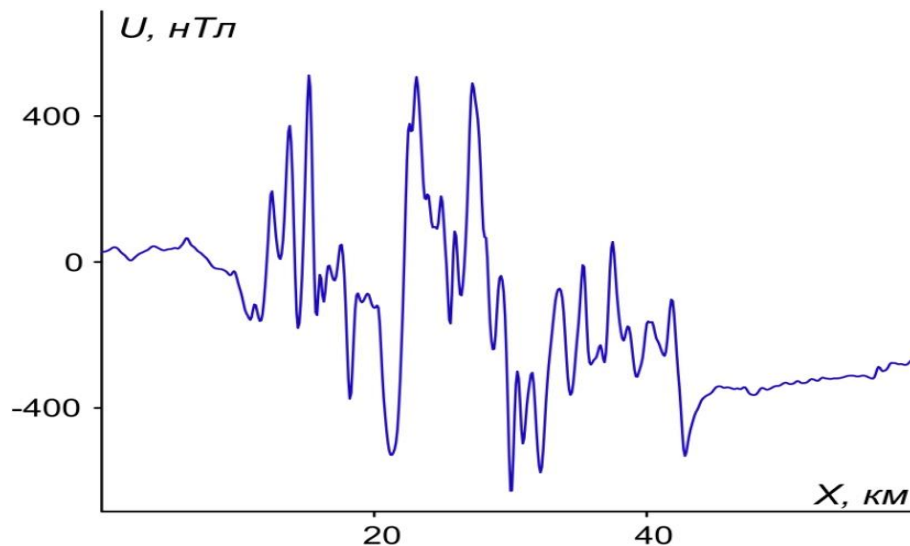


Рис. 1. График исходного сигнала U ($\Delta x = 100$ м, $k = 601$).

Выберем начальный размер окна (интервала) $R_1 = 800$ м, близкой к радиусу автокорреляции сигнала U и масштабный коэффициент $\alpha = 2$: $R_{i+1} = \alpha R_i, i = \overline{1, M}$. Построим кусочно-постоянные огибающие $p(x)$, $q(x)$ сигнала с использованием нелинейных фильтров максимума и минимума, включающих в себя $k_1 = 9$ точек, перемещающихся вдоль оси абсцисс с шагом k_1 (рис. 2). Для $n_1 = \lfloor k/k_1 \rfloor$ точек, отвечающих центру интервала, можно определить функцию средних значений $\varphi(x) = [p(x) + q(x)]/2$. Для крайней точки с номером $M = n_1 + 1$ и координатой $x = 0.5R_1 + n_1 k_1 \Delta x$ параметры $p(x)$, $q(x)$ вычисляются с использованием оставшихся $k - n_1 k_1$ значений сигнала.

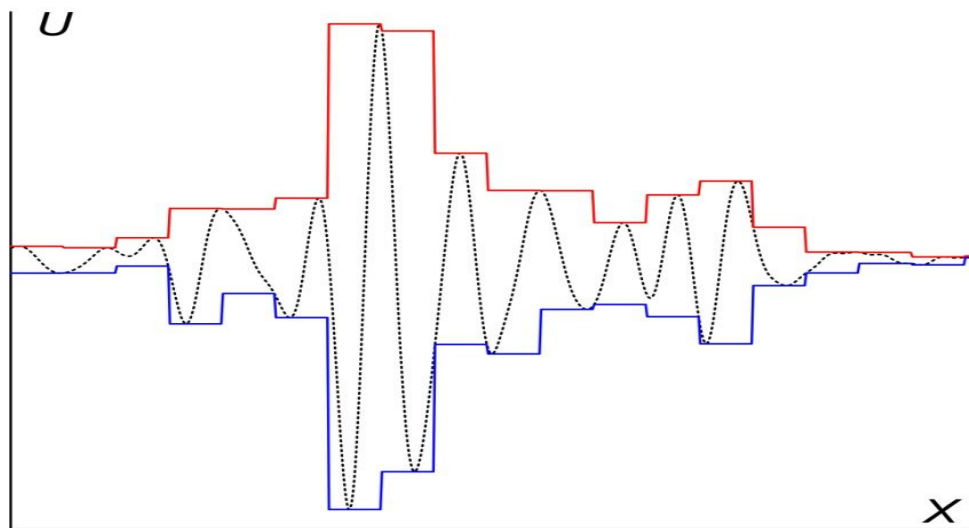


Рис. 2. Пример построения кусочно-постоянных огибающих $p(x)$ и $q(x)$ сигнала U .

Во всех случаях результативные значения относятся к центру интервала, т.е. допускается расположение крайней точки M за пределами профиля наблюдений. В итоге получаем N средних значений $\varphi(x)$, находящихся друг от друга на одинаковом расстоянии $\Delta x(k_1 - 1)$, которые затем аппроксимируются линейной комбинацией гармонических функций:

$$\varphi(x) \cong \sum_{n=1}^N b_n h / [(x_n - x)^2 + h^2] \quad (2),$$

где b_n – коэффициенты, определяемые в процессе аппроксимации; h – константа. Правая часть выражения (2) – гравитационный эффект V_z совокупности бесконечно длинных горизонтальных стержней, размещенных на глубине h под точками $x_n, n = \overline{1, N}$, обладающих линейными массами, пропорциональными b_n (Balk et al, 2016). Значения коэффициентов b_n определяются путем решения СЛАУ методом релаксации:

$$\mathbf{A}\mathbf{b} = \mathbf{c} \quad (3),$$

где \mathbf{A} – матрица коэффициентов вида $h / [(x_n - x)^2 + h^2]$ размером N строк, N столбцов; $\mathbf{b} = \{b_n\}$ – вектор неизвестных параметров; $\mathbf{c} = \{\varphi_n\}$ – вектор средних значений. Выбор константы $h = R_1$ обеспечивает устойчивость решения СЛАУ и необходимую точность аппроксимации (Аронов, 1990). Качество аппроксимации контролируется в метрике Чебышева, значение невязки ε_0 задается, исходя из условия $\varepsilon_0 \leq 0.001|U|$. После решения СЛАУ значения $\varphi(x)$ восстанавливаются во всех точках, в которых были выполнены измерения U (рис. 3). Максимальное расстояние по оси X от точки расчета V_z , до ближайшего источника поля не превышает $0.5h$ и никак не зависит от расположения экстремумов U (или MMF).

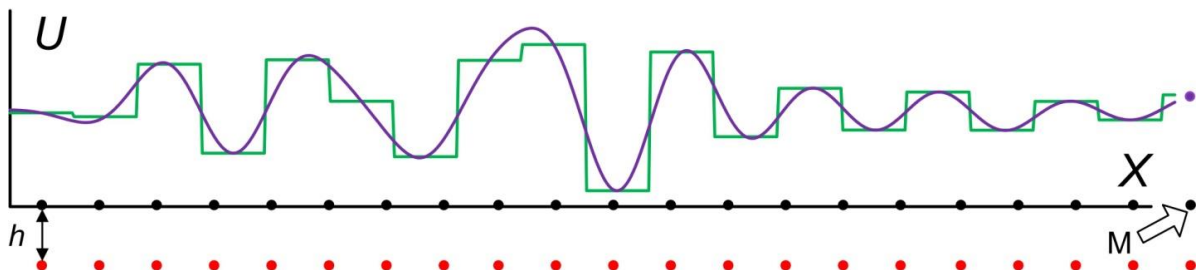


Рис. 3. Кусочно-постоянная функция $\varphi(x)$ и результат ее аппроксимации системой гармонических функций. Приведено расположение точек x_n (черный цвет) и горизонтальных бесконечных стержней (красный цвет).

Далее проводятся внешний и внутренний циклы разложения и отсеивания, при которых используются описанные выше вычислительные операции. Глобальным критерием завершения процесса является получение MMF с 1-м или 2-я экстремумами, в данном случае это была MMF № 6 (рис. 4).

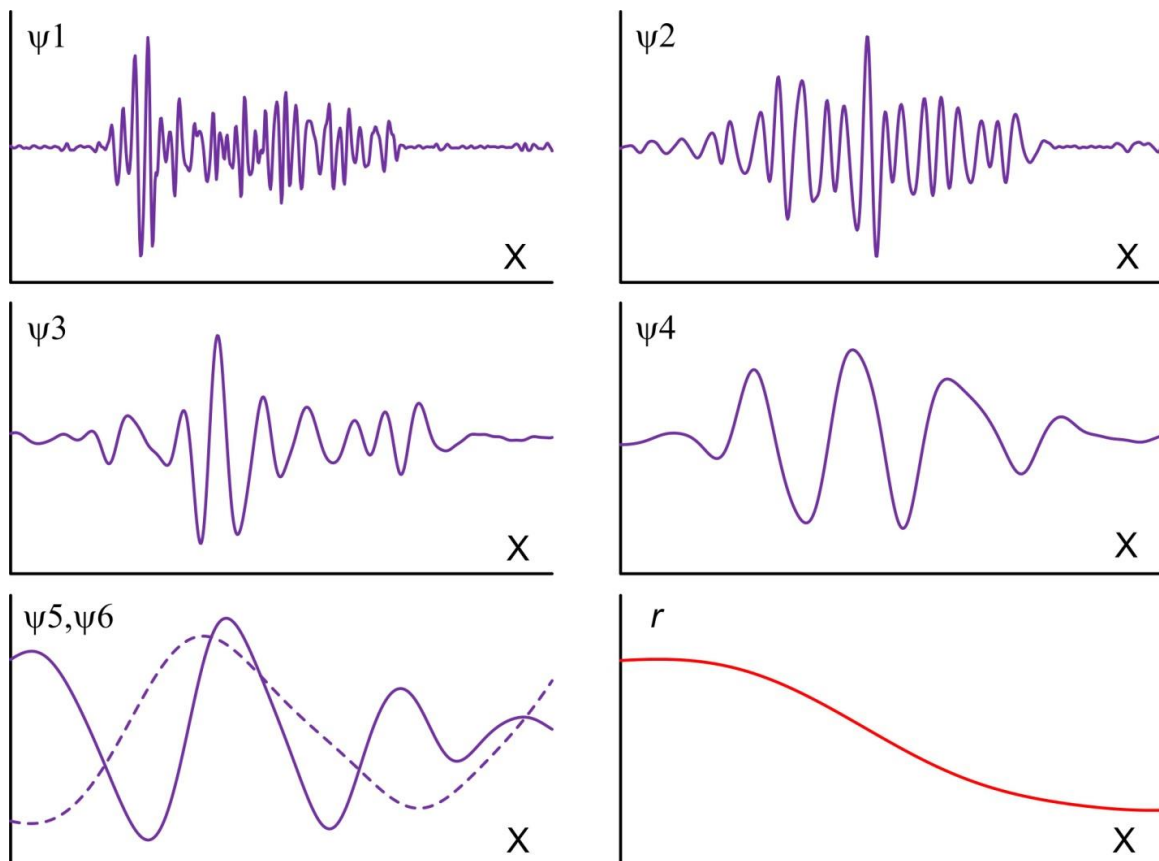


Рис. 4. Результат разложения магнитного поля на составляющие: модифицированные модовые функции ψ и остаток r ($k_1 = 9$, $\alpha = 2$).

Квадратная матрица \mathbf{A} коэффициентов СЛАУ (3) для исходных данных U является симметричной, условие диагонального преобладания в данном случае не выполняется: $a_{ii} \cong \sum_{i \neq j}^N a_{ij}$ для $i = \overline{1, N}$. Для оценки обусловленности СЛАУ выполнено обращение матрицы \mathbf{A} итерационным методом Шульца второго порядка с использованием в качестве начального приближения для \mathbf{A}^{-1} матрицы $\beta \mathbf{A}^T$, $\beta = 10^{-7}$. Норма матриц \mathbf{A} и \mathbf{A}^{-1} для нового и старого алгоритмов приведены в табл. 1.

Таблица 1. Нормы матриц коэффициентов СЛАУ.

	Новый алгоритм		Старый алгоритм			
	$\varphi(x)$		$p(x)$		$q(x)$	
	$\ A\ $	$\ A^{-1}\ $	$\ A\ $	$\ A^{-1}\ $	$\ A\ $	$\ A^{-1}\ $
max-норма	1.11	1.57	0.57	377.29	0.53	665.68
l-норма	3.44	3.34	3.35	916.07	3.35	1624.49
E- норма	11.51	15.13	28.00	686.80	26.32	2209.91

Следует пояснить, что в старом алгоритме (Долгаль и др., 2019) осуществлялась истокообразная аппроксимация максимумов и минимумов сигнала при $h = 0.5\Delta x_{\max}$, где Δx_{\max} – максимальное расстояние между максимумами (минимумами) исходного поля. Как очевидно, числа обусловленности $\nu_A = \|A^{-1}\| \|A\|$, характеризующие влияние неточностей исходных данных на результаты решения СЛАУ (Вычислительная математика., 1990), в новом алгоритме на 2–3 порядка ниже, чем в старом.

Выполним проверку ортогональности модовых функций, представленных на рис. 4, путем вычисления их скалярных произведений. Скалярное произведение любых пар ММФ должно быть достаточно мало: $\int \psi_i \psi_j dx \rightarrow 0$, при $i \neq j$. Напомним, что энергией сигнала E принято называть квадрат его амплитуды. В табл. 2, 3 представлены значения средней энергии возможных сочетаний функций в абсолютном и относительном выражении. В последнем случае вычислялись нормированные значения $E_n = 2\psi_i \psi_j / (\psi_{ii} + \psi_{jj})$.

Таблица 2. Взаимная средняя энергия E модовых функций и остатка, в Нтл².

	ψ_1	ψ_1	ψ_1	ψ_1	ψ_1	ψ_1	r
ψ_1	4273.1						
ψ_1	44.1	3945.7					
ψ_1	161.2	237.3	7005.3				
ψ_1	-442.8	-278	-656.4	13697.5			
ψ_1	-18.2	-214.7	-317.6	-673.4	2760.6		
ψ_1	-145.4	-138.4	-690.2	-340.3	-129	2826.3	
r	-206.2	311.4	573.3	-2026.7	687.5	1963.6	38685

Таблица 3. Взаимная средняя нормированная энергия E_n модовых функций и остатка, в %.

	ψ_1	ψ_1	ψ_1	ψ_1	ψ_1	ψ_1	r
ψ_1	100						
ψ_1	1.07	100					
ψ_1	2.86	4.33	100				
ψ_1	-4.93	-3.15	-6.34	100			
ψ_1	-0.52	-6.4	-6.5	-8.18	100		
ψ_1	-4.1	-4.09	-14.04	-4.12	-4.62	100	
r	-0.96	1.46	2.51	-7.74	3.32	9.46	100

Конечный интервал задания поля U и высокие асимптотические значения функции в правой части графика ограничивают возможности уменьшения значений скалярных произведений функций ψ_i и ψ_j . Однако сопоставление параметров, расположенных на главной диагонали матриц (табл. 2, 3) свидетельствует о приближенной взаимной ортогональности результатов разложения сигнала. Этот вывод подтверждают низкие значения коэффициентов корреляции между всеми компонентами (табл. 4).

Таблица 4. Коэффициенты линейной корреляции между компонентами разложения сигнала.

	ψ_1	ψ_1	ψ_1	ψ_1	ψ_1	ψ_1	r
ψ_1	1						
ψ_1	0.010	1					
ψ_1	0.027	0.040	1				
ψ_1	-0.056	-0.034	-0.058	1			
ψ_1	-0.005	-0.064	-0.071	-0.110	1		
ψ_1	-0.045	-0.048	-0.176	-0.043	-0.044	1	
r	-0.039	-0.002	-0.064	-0.047	0.104	0.111	1

Разработанный алгоритм реализует попытку объединить вместе использование адаптивного базиса (EMD) и преобразований сигнала вида "масштаб-время" (FWT), за счет использования дополнительных ограничений на частоты квазиортогональных компонент разложения исходного сигнала. Эти ограничения являются препятствием для смешивания мод. Кусочно-постоянное представление огибающих сигнала несколько загроубляет результаты разложения, но полностью исключает возможность пересечения кривых $p(x)$, $q(x)$, $\varphi(x)$.

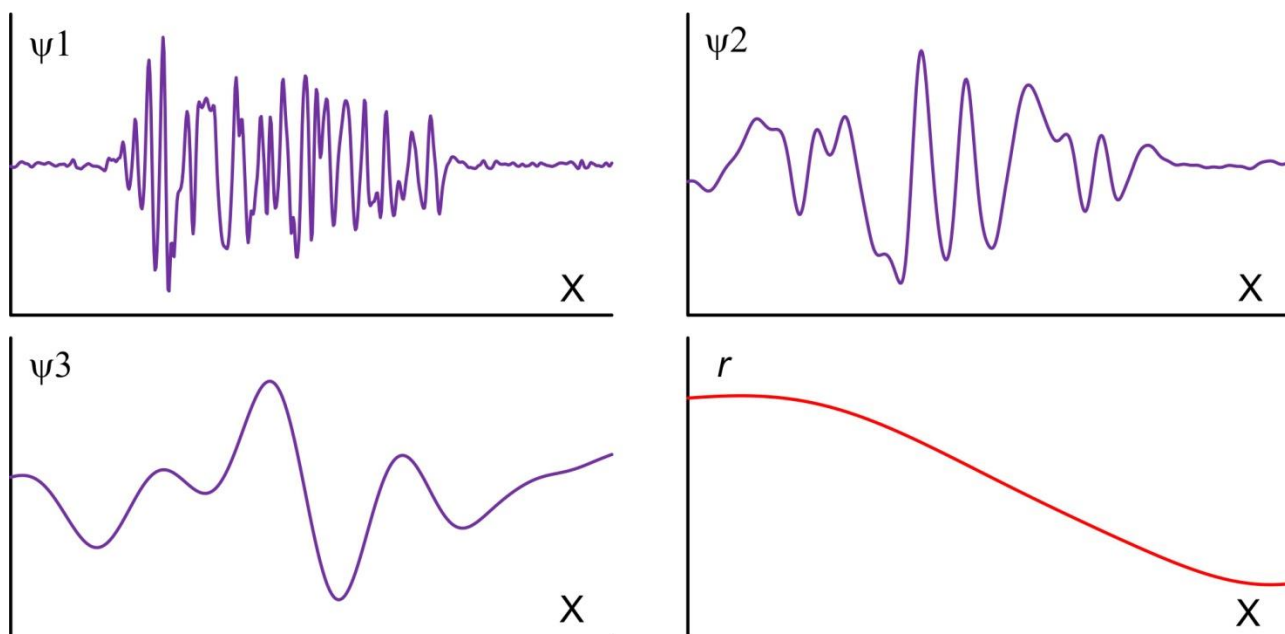


Рис. 5. Результат разложения магнитного поля на составляющие: модифицированные модовые функции ψ и остаток r ($k_1 = 15$, $\alpha = 4$).

Также снимается вопрос выделения многоточечных (плоских) экстремумов, осложняющий применение EMD при решении экономических задач. Использование в циклах отсеивания истокообразной аппроксимации обеспечивает возможность использования данного алгоритма при анализе геопотенциальных полей. Отличительными особенностями алгоритма является практически полное отсутствие краевых эффектов и возможность управления процессом за счет изменения параметров α и k_1 (рис. 5). Алгоритм нуждается в дальнейшем тестировании на синтетических и практических данных, его основные элементы полностью применимы для создания 3D модификации.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 19-05-00654 А.

Библиографический список:

1. *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.
2. *Dremin I.M., Ivanov O.V., Nechitailo V.A.* Wavelets and their uses // *Physics-Uspekhi*. 2001. Vol. 44. № 5. P. 447–478.
3. *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. T. 454. pp. 903–995.
4. *Аронов В.И.* Методы построения карт геолого-геофизических признаков и геометризация залежей нефти и газа на ЭВМ. М.: Недра, 1990. 301 с.
5. *Влацкая Л.А., Семенова Н.Г., Греков Э.Л.* Сравнение алгоритмов модовой декомпозиции при исследовании несинусоидальных электрических сигналов // *Научно-технический вестник Поволжья*. 2019. № 12. С. 51–55.
6. *Вычислительная математика и техника в разведочной геофизике: справочник геофизика* /под ред. В.М. Дмитриева. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Недра, 1990. 498 с.
7. *Давыдов В.А., Давыдов А.В.* Уменьшение краевых эффектов при выполнении эмпирической модовой декомпозиции сигналов преобразования Гильберта-Хуанга // *Актуальные инновационные исследования: наука и практика*. 2011. № 1. С. 11–17.
8. *Давыдов В.А., Давыдов А.В.* Управление эмпирической модовой декомпозицией сигналов при анализе и обработке геофизических данных // *Каротажник*. 2010. № 5. С. 98–114.
9. *Долгаль А.С., Муравина О.М., Ворошилов В.А.* Анализ геофизических полей методом эмпирической модовой декомпозиции (EMD) // *Геология и полезные ископаемые Западного Урала: сб. науч. ст. / под общ. ред. П. А. Красильникова*; Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2019. Вып. 2(39). С. 212–222.
10. *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.
11. *Никитин А.А., Петров А.В.* Теоретические основы обработки геофизической информации: учебное пособие. Москва. Издательство МГГРУ. 2008. 112 с.
12. *Павловичев П.О., Пикунова Т.М., Топников А.И.* Коррекция огибающих при эмпирической модовой декомпозиции речевых сигналов // *Системы синхронизации, формирования и обработки сигналов*. 2013. Т. 4. № 1. С. 54–56.

ПОСТРОЕНИЕ СКОРОСТНОЙ МОДЕЛИ СРЕДЫ

Одной из важнейших задач при проведении сейсморазведочных работ является учет верхней части геологического разреза. В последние годы для изучения верхней части разреза широко используют времена первых вступлений, которые регистрируются на полевых сейсмограммах МОВ ОГТ. Целью данной работы является построение скоростной модели верхней части разреза в системе обработки Seismic Processing System for PC. По результатам интерпретации изучаемая толща может быть аппроксимирована трехслойной моделью среды. Сопоставив полученные данные с данными бурения, было установлено, что первый слой соответствует четвертичным отложениям, а второй слой – пестроцветной толще. Хорошая сходимость результатов интерпретации преломленных волн с данными бурения скважин свидетельствует о высокой эффективности использования преломленных волн для изучения скоростных неоднородностей верхней части геологического разреза.

Ключевые слова. Сейсморазведка, верхняя часть разреза, метод первых вступлений, обработка, интерпретация, SPS-PC.

N.V. Kulakova
Perm State University, kulakva@gmail.com

BUILDING A SPEED ENVIRONMENT MODEL

One of the most important tasks in conducting seismic surveys is to account for the upper part of the geological section. In recent years, to study the upper part of the section, the times of first intakes are widely used, which are recorded on the field seismograms of the MOV OGT. The purpose of this work is to build a high-speed model of the upper part of the section in the processing system Seismic Processing System for PC. Based on the results of interpretation, the studied thickness can be approximated by a three-layer model of the medium. By comparing the data obtained with drilling data, it was found that the first layer corresponds to Quaternary deposits, and the second layer corresponds to a variegated thickness. Good convergence of the results of interpretation of refractive waves with well drilling data indicates a high efficiency of using refractive waves to study the velocity inhomogeneities of the upper part of the geological section.

Key word. Seismic survey, upper section, first entry method, processing, interpretation, SPS-PC.

Одной из важнейших задач при проведении сейсморазведочных работ является учет верхней части геологического разреза. Для нее характерна сильная неоднородность геологического разреза (зона малых скоростей, зона вечной мерзлоты, трапповые покровы и т.д.) и, как итог, резкая изменчивость его скоростных параметров (словарь по геологии нефти и газа, 1988).

В настоящее время существует множество методов, направленных на изучение ВЧР. 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 (Кулакова, 2019).

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. 1). 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 (Митюнина и др., 2003).

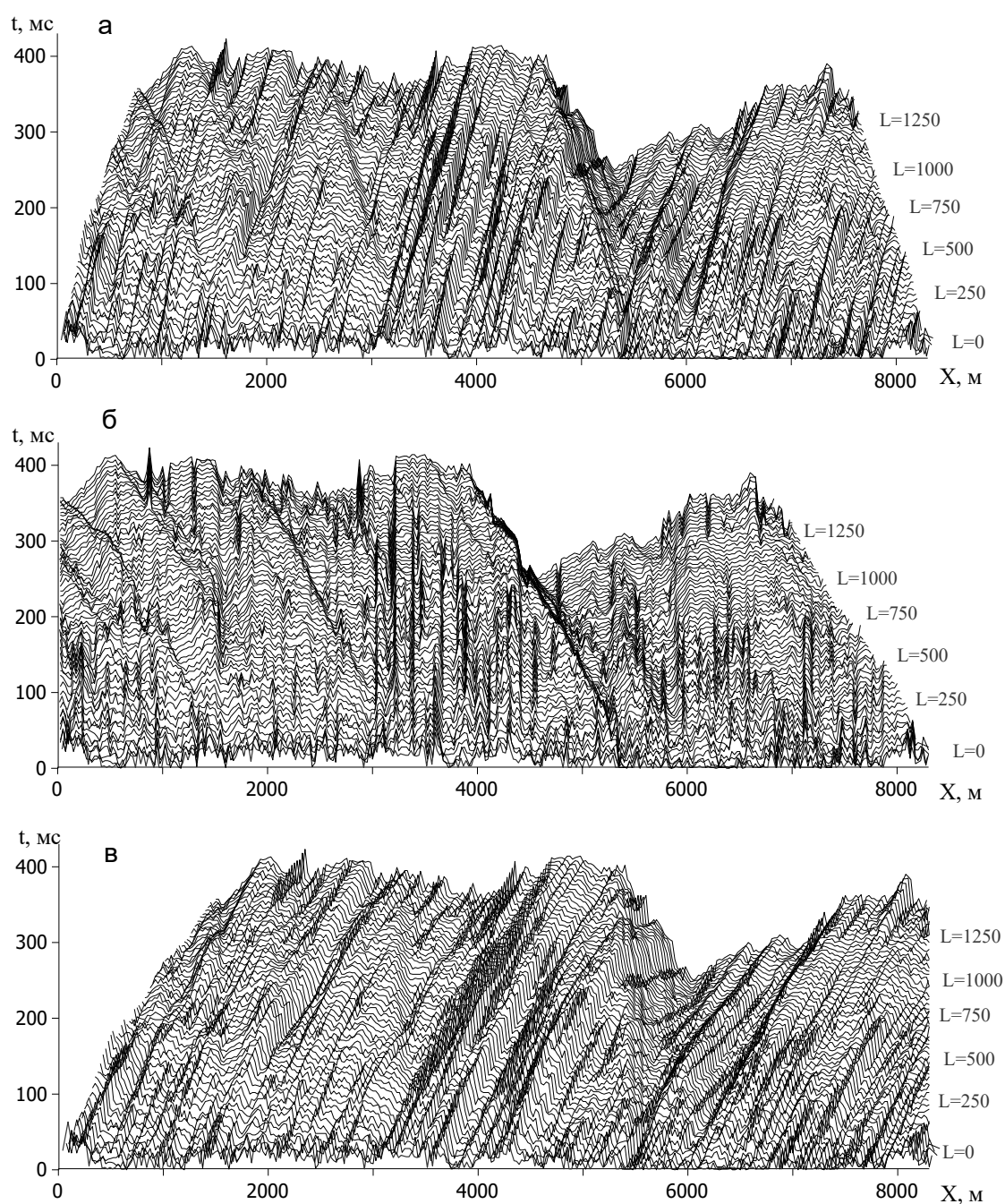


Рис. 1. Временные поля первых волн, сформированные по ОГТ (а), ОПВ (б) и ОПП (в)
(Спасский, Митюнина 2007)

Целью данной работы является построение скоростной модели верхней части разреза по данным сейсморазведки с использованием временных полей первых волн. Исходными данными являлись материалы сейсмических работ, проведенных работниками Горного института УрО РАН, на одной из территорий Пермского края.

Построение скоростной модели ВЧР проводилось в системе обработки Seismic Processing System for PC (Н.А. Голярчук), обеспечивающей полный цикл обработки сейсмических данных метода отраженных и преломленных волн, полученных в полевых условиях (www.SPS-PC.Narod.ru). Обработка и интерпретация данных, полученных методом преломленных волн осуществлялась в модуле HeadWave.

Для начала на полевых сейсмограммах производилась корреляция времен первых вступлений (рис. 2). Сейсмограммы характеризуются сложным волновым полем, где доминирующими являются волны помехи, различной природы. На некоторых сейсмограммах было невозможно выделить первые вступления ввиду их плохого качества.

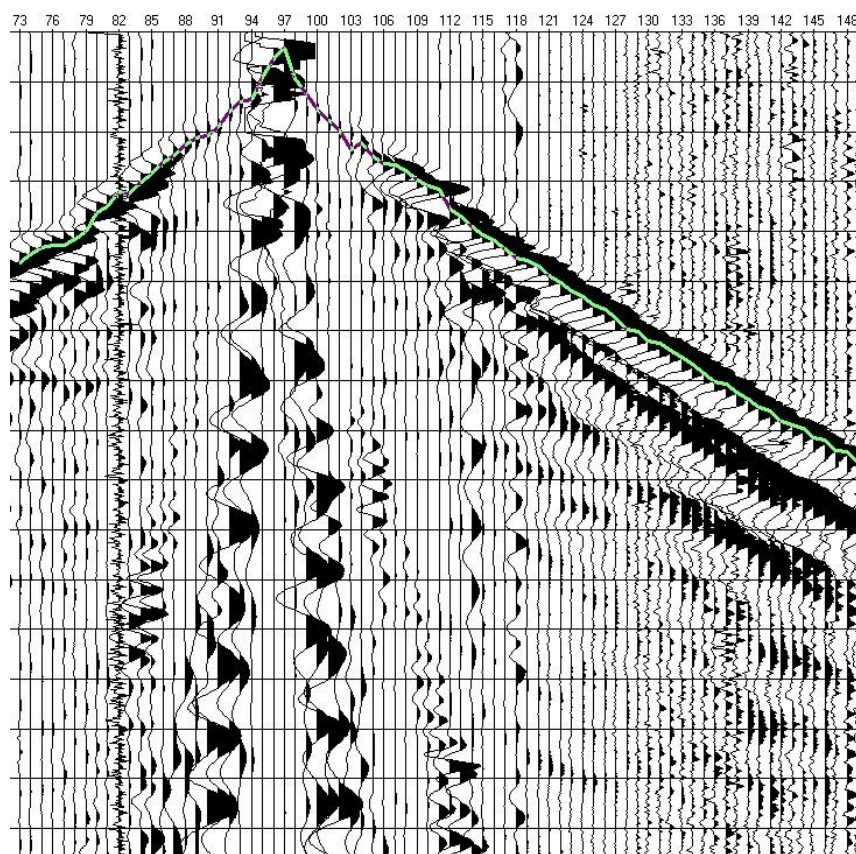


Рис. 2. Полевая сейсмограмма

Далее было построено поле времен первых вступлений, после чего осуществлялась интерактивная обработка прокоррелированных годографов в предположении о регистрации в первых вступлениях головных волн (рис. 3). Проведено разделение поля времен на равные фрагменты, где в каждом проме-

жутке по вертикальному годографу определялось количество слоев и пластовые скорости.

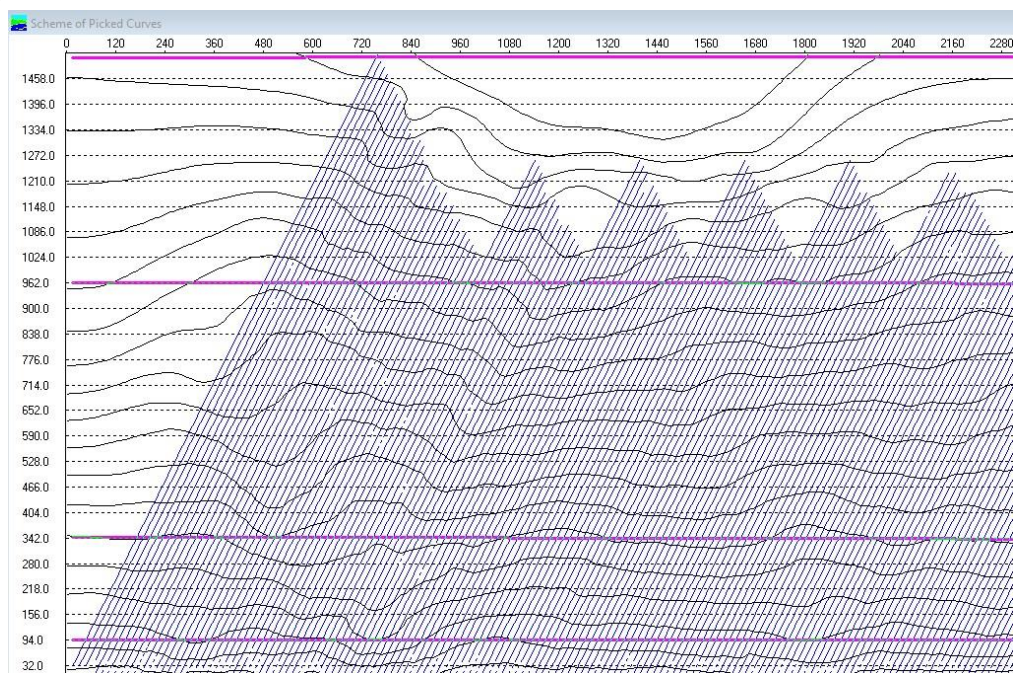


Рис. 3. Временные поля первых волн

Расчет средних и граничных скоростей, построение преломляющих границ осуществлялся в режиме Vels нажатием одноименной команды. Вычисление глубин залегания преломляющих границ проводилось способом T0 в режиме Depth.

В результате были получены текстовые документы по трем профилям, в которых содержалась информация о количестве слоев, глубине залегания границ, средней и граничной скоростях (рис. 4). Но на данном этапе глубины залегания не соответствовали действительности, так как исходные параметры до обработки были увеличены, что позволило воспользоваться системой SPS-PC для обработки и интерпретации данных.

Geophone	Step	16					
First	Picket	16					
Last	Picket	3840					
Time	Grid	untitled.GRD					
Number of	Layers	4					
Layer	No	1					
	Picket	Vbaund	Vmidl	T0	H	Depth	Alop
Layer	No	2					
	Picket	Vbaund	Vmidl	T0	H	Depth	Alop
	96	2050.1	1299.9	47.9	312.5	33.5	346
	112	2050.1	1299.9	46.7	312.5	33.5	346
	128	2040.3	1302.1	44.2	312.8	33.2	346
	144	2021.8	1306.1	40.6	313.4	32.6	346
	160	1996.6	1311.1	37.6	314.2	31.8	346
	176	1967.3	1316.6	35	315.1	30.9	346
	192	1936.8	1321.9	32.9	316.1	29.9	346
	208	1907.6	1326.8	30.7	317.1	28.9	346
	224	1881.9	1331.3	25.1	318.1	27.9	346
	240	1861	1335.2	24.4	318.8	27.2	346
	256	1845.8	1338.5	24.5	319.5	26.5	346
	272	1836.5	1341	24.6	319.9	26.1	346
	288	1832.8	1342.4	24.8	320.1	25.9	346
	304	1833.9	1342.6	25.5	320.3	25.7	346
	320	1839.2	1341.4	26.2	320.2	26.8	347

Рис. 4. Результаты интерпретации по одному из профилей

По полученным скоростям и вычисленным глубинам залегания, была построена скоростная модель верхней части разреза в геоинформационной системе ArcGIS (рис. 5).

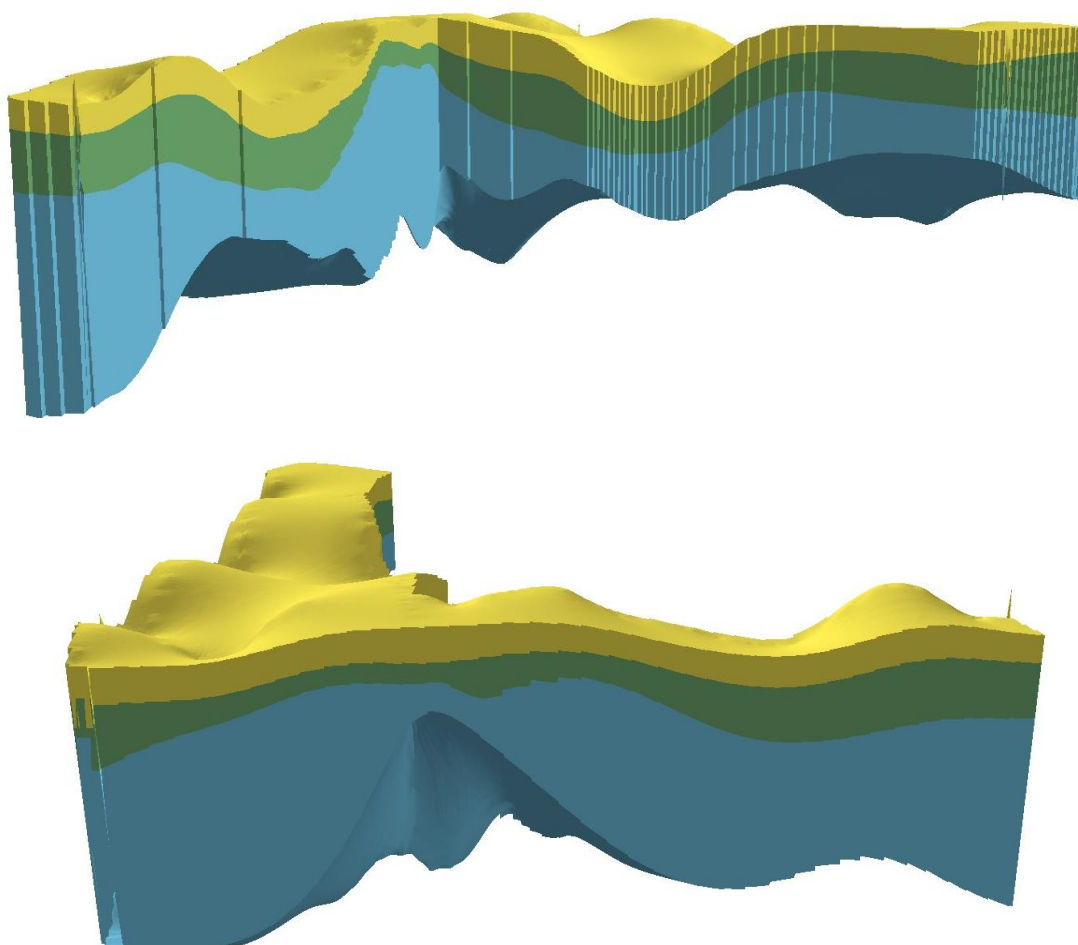


Рис. 5. Скоростная модель ВЧР.

По результатам интерпретации изучаемая толща может быть аппроксимирована трехслойной моделью среды. Сопоставив полученные данные с данными бурения, было установлено, что первая граница соответствует глубине залегания четвертичных отложений и в среднем составляет 20 метров. Граничные скорости изменяются от 1800 до 3500 м/с, средние скорости – 720 – 1400 м/с. Второй слой имеет среднюю мощность 42 м и может быть отнесен к глинистым отложениям пестроцветной толщи. Граничные скорости изменяются от 2200 до 4200 м/с, средние скорости варьируются в пределах 1300 – 1800 м/с. В 3 слое граничные скорости изменяются от 2700 до 4000 м/с, средние – 1800 – 2000 м/с.

Хорошая сходимость результатов интерпретации преломленных волн с данными бурения скважин свидетельствует о высокой эффективности использования преломленных волн для изучения скоростных неоднородностей верхней части геологического разреза.

Библиографический список

1. 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.
2. Кулакова Н.В. Обзор существующих методов изучения ВЧР // 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, 2019. – С. 241-247.
3. Митюнина И.Ю., Спасский Б.А., Лантев А.П. Первые волны на сейсмограммах МОВ и изучение верхней части разреза. Геофизика, 2003. №5. С. 5-12.
4. Спасский Б.А. Учет верхней части разреза в сейсморазведке. Иркутск, 1990. С. 184.
5. 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.
6. Словарь по геологии нефти и газа. - Л.: Недра, 1988. - 679 с.: ил.
7. www.SPS-PC.Narod.ru

М. С. Лучников, Е. И. Паршаков

ПФИЦ УрО РАН, г. Пермь, MaximLuchnikov@mail.ru
parshakov_e@list.ru

ИЗУЧЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ НАДСОЛЕВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ НА ВОСТОЧНО ТАЛИЦКОМ УЧАСТКЕ ВКМКС

Выполнено изучение Восточно-Талицкого участка Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей методом вертикального электрического зондирования. Проанализированы изменения кажущихся сопротивлений, выполнена качественная и количественная интерпретация по всем исследуемым профилям. Проведено сопоставление результатов количественной интерпретации параметрических ВЭЗ, расположенных вблизи скважин, с данными бурения. Определены зоны пониженных сопротивлений в надсолевой толще, которые могут быть связаны с повышенной трещиноватостью или с литологическими особенностями пород. Результаты исследования позволили повысить степень изученности данного участка.

Ключевые слова: Вертикальное электрическое зондирование, Верхнекамское месторождение калийных солей, параметрические ВЭЗ, Восточно-Талицкий участок, качественная и количественная интерпретация.

M.S. Luchnikov, E.J. Parshakov
PFIC UB RAS, Perm, MaximLuchnikov@mail.ru
parshakov_e@list.ru

STUDYING THE ELECTRICAL PROPERTIES OF OVER-SALT DEPOSITS AT THE EAST-TALITSKY AREA OF VDPS

The study of the East-Talitsky section of the Verkhnekamsk deposit of potassium and magnesium salts by the method of vertical electric sounding is carried out. Changes in apparent resistances are analyzed, and a qualitative and quantitative interpretation is made for all studied profiles. The results of the quantitative interpretation of parametric VES located near the wells are compared with the drilling data. Zones of reduced resistance in the suprasalt layer, which may be associated with increased fracturing or lithological features of the rocks, are determined. The results of the study allowed to increase the degree of study of this site.

Key words: Vertical electric sounding, Verkhnekamsk potash deposit, parametric VES, East Talitsky site, qualitative and quantitative interpretation.

Метод вертикального электрического зондирования (ВЭЗ) входит в состав комплексных исследований, направленных на обеспечение безопасности ведения горных работ и решения ряда геологических задач на всех стадиях освоения Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей (ВКМКС). На сегодняшний день электрические зондирования остаются одним из самых применяемых электроразведочных методов. На основе ВЭЗ разработаны и другие современные технологии – например, электротомография, базирующиеся на тех же принципах, что и для «классических» электрических зондирований. Целесообразность проведения электроразведочных работ методом ВЭЗ обусловлена различием удельного сопротивления слагающих пород, а также их субгоризонтальным залеганием.

Породы, слагающие надсолевой комплекс, обладают удельным сопротивлением от единиц до тысяч Ом·м. Четвертичные отложения, зачастую представленные глинами и суглинками, являются низкоомными.

Всю верхнюю часть разреза ВКМКС, можно разделить на две основные толщи: соляная залежь и надсолевой комплекс пород. При этом тектонические формы надсолевых отложений связаны с рельефом кровли соляной залежи и повторяют его в более сглаженных очертаниях. В свою очередь соляная залежь представляет собой сложное геологическое тело с относительно равной кровлей и подошвой. В теле залежи прослеживаются пологие валообразные структуры, осложненные поднятиями, чередующиеся с синклинальными прогибами и мульдами (Кудряшов, 2001).

Одной из основных задач метода ВЭЗ является изучение особенностей геологического строения надсоляных отложений (наличие тектонических нарушений, зон повышенной разуплотненности, по которым происходит активный водообмен, замещение пород и др.). Задача решается на основе результатов качественной и количественной интерпретации данных ВЭЗ, включающих построение схем и разрезов кажущихся сопротивлений, а так же геоэлектрических раз-

резов, построенных с учетом сопоставления данных бурения и количественной интерпретации на параметрических точках зондирования (Степанов, 2013).

Наиболее разведанные площади ВКМКС были покрыты геофизической съемкой масштаба 1:50 000 и детальнее еще в конце прошлого века. Менее изученными остаются краевые северо-восточные и восточные участки месторождения, где геофизическая изученность соответствует масштабу 1:200 000 (Кудряшов, Васюков, 2004). Одним из таких участков является Восточно-Талицкий. Степень его изученности оценивается как низкая. Электроразведочные работы методом ВЭЗ масштаба 1:50 000, выполненные в 1989 г. партией Пермской ГРЭ, незначительно охватывают участок исследования на западе и юго-западе.

В 2019 г. были проведены дополнительные исследования методом вертикального электрического зондирования по пяти профилям, общая протяженность которых составила 16,4 км (рис. 1). Минимальный разнос питающей линии АВ составлял 5 метров. Расстояние между питающими электродами и центром измерительной установки последовательно увеличивалось с прогрессией 1,25 до максимального разноса 1000 м. Эффективная глубина зондирования, рассчитанная из соотношения $Z_{\text{эф}} = AB/6$, составит при этом около 200 метров.

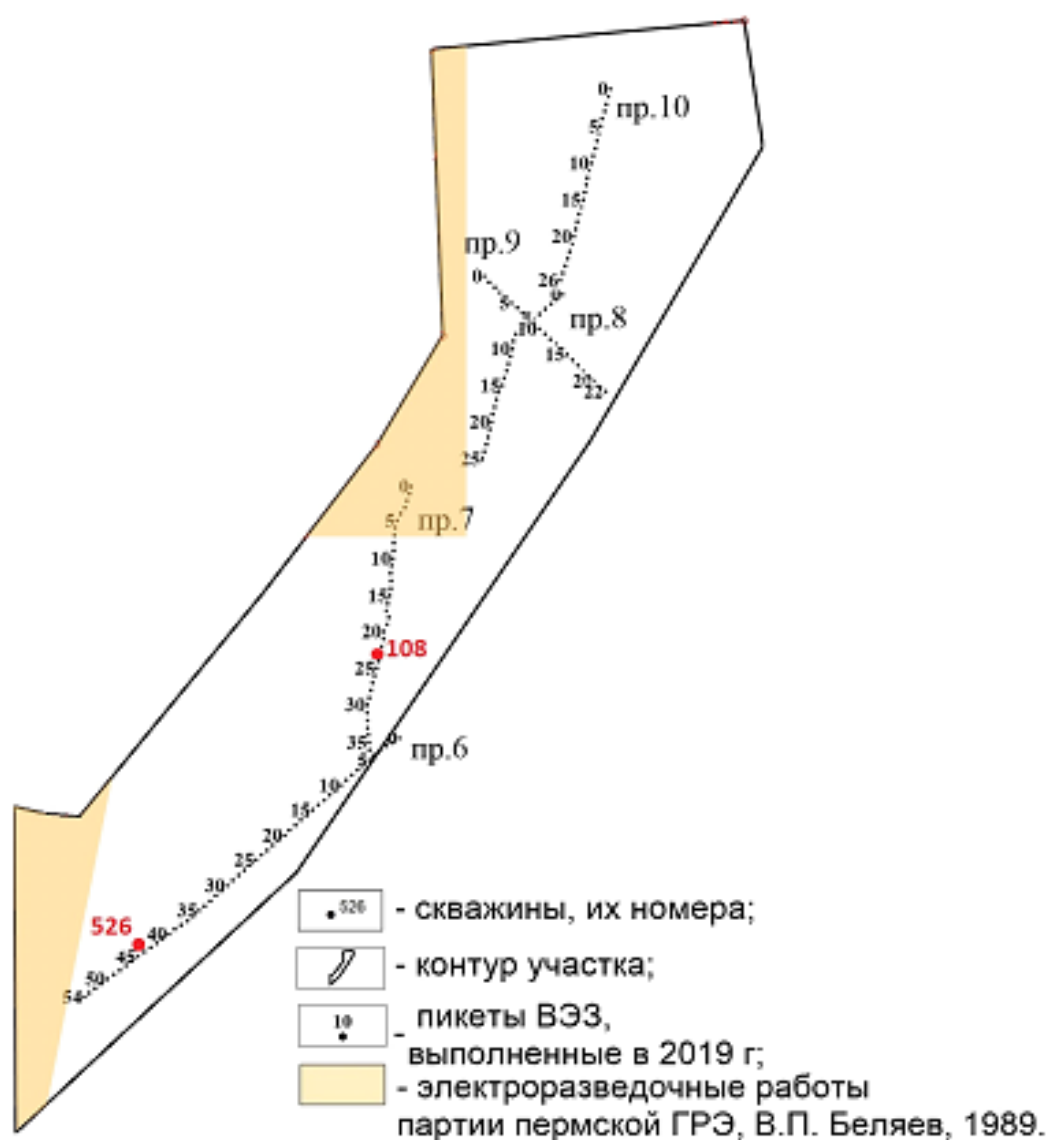


Рис 1. Схема изученности участка и расположение профилей ВЭЗ в 2019 г.

ную трещиноватость и, как следствие, обводненность). Мощность верхней части ТКТ около 45 метров. Залегающие ниже породы, преимущественно представлены известняком и отмечаются повышенными сопротивлениями (около 160 Ом·м). Мощность также составляет около 45 метров.

Четвертый геоэлектрический горизонт приурочен к соляно-мергельной толще, которая относительно слабо проявляется на кривых зондирования, что затрудняет литологическую привязку нижней его границы. Породы СМТ представлены в основном мергелями и глиной, с прослоями гипса. Сопротивления пород толщи около 92 Ом·м. Мощность составляет порядка 100 м.

Опорный геоэлектрический горизонт, отождествляется с кровлей нерасчлененной толщи ПП+ПКС. По данным параметрических зондирований он обладает сопротивлением около 350 Ом·м.

Программа IPI, которая используется для интерпретации, в каждой точке наблюдений автоматически решает прямую задачу от полученной при подборе модели и строит разрез кажущихся сопротивлений. Результат интерпретации профиля ВЭЗ (т.е. набор результирующих моделей) изображается в виде геоэлектрического разреза. Для количественной интерпретации были построены разрезы кажущихся сопротивлений и геоэлектрические разрезы по пяти исследуемым профилям. На рис.3 представлены разрезы по профилю 7, с параметрическим зондированием на ПК 23.

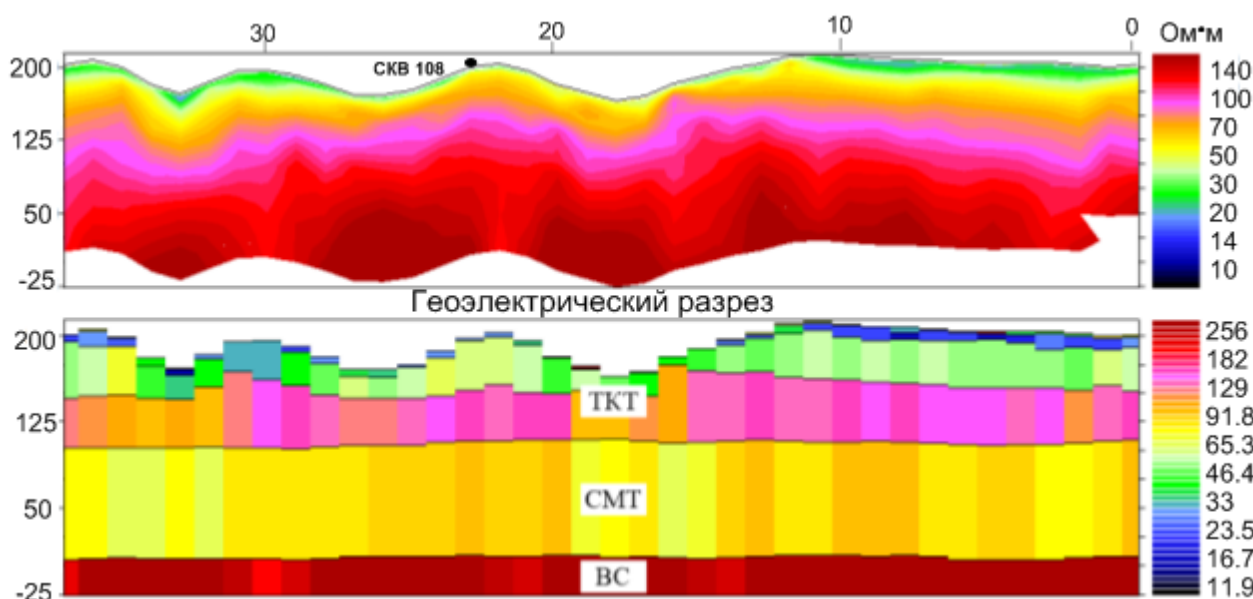


Рис. 3. Разрез кажущихся сопротивлений и геоэлектрический разрез по профилю 7

По результатам количественной интерпретации в пределах всех профилей выделяются 5-6 геоэлектрических слоев. Наибольшая мощность четвертичных отложений (до 20 м) отмечается в центральной части профиля 6 (пикеты 20-28) и на профиле 8 (пикеты 14-16).

Мощность ТКТ варьирует в широких пределах от 60 м на возвышенностях (профиль 8, ПК 1-8) до полного отсутствия в пониженных участках рельефа (профиль 9, ПК0-6). ТКТ разделяется на две литозоны: нижнюю – плитняковую (мергельно-доломито-известняковую) и верхнюю – известково-терригенную.

Плитняковая зона средней мощностью 65-70 м сложена известняками, доломитами и тонкослоистыми мергелями. Известково-терригенная литозона мощностью 52-64 м представлена аргиллитами, алевролитами, мелкозернистыми песчаниками и известняками. Общая мощность ТКТ колеблется от 90 до 170 м. (Кудряшов, 2001). По данным бурения (скв.108, 526) верхняя часть толщи представлена терригенными породами и имеет относительно невысокие значения удельного электрического сопротивления (УЭС). Диапазон изменения этих значений составляет 35 – 65 Ом·м. Судя по величине значений УЭС, данный слой является водонасыщенным. Нижняя часть ТКТ представлена преимущественно карбонатными породами. Мощность слоя изменяется в пределах 60 – 40 м. Наименьшие мощности прослеживаются в пределах профилей 8 и 9. Максимальные отмечаются в южной части профиля 6. Удельные сопротивления изменяются в интервале 90 – 160 Ом·м.

СМТ в пределах участка исследований относительно выдержана по мощности, значения которой изменяются в диапазоне от 90 – 95 м (профили 8,9,10) и до 100 – 105 м на профиле 6. Диапазон изменения значений УЭС составляют 50 – 90 Ом·м.

Нерасчлененная толща ПП+ПКС характеризуется высокими значениями УЭС. На большей части исследуемых профилей они составляют 400-450 Ом·м. В пределах профилей 8, 9 и 10 прослеживаются интервалы пониженных значений УЭС в пределах толщи (около 100 Ом·м).

Таким образом, в пределах исследуемых профилей можно выделить несколько интервалов пониженных сопротивлений: профиль 8 ПК 2 – 4 (соляно-мергельная толща – верхняя соль); профиль 9 ПК 0 – 6 (терригенно-карбонатная толща – верхняя соль), 15 – 16 (соляно-мергельная толща), 19 – 22 (соляно-мергельная толща – верхняя соль) и профиль 10 ПК 13 – 17 (терригенно-карбонатная толща – верхняя соль). Понижение сопротивления может быть вызвано повышенной трещиноватостью и, как следствие, влагонасыщенностью пород, либо литологическими особенностями пород слагающих разрез (например, изменение глинистости).

Для представления характера пространственного изменения электрических свойств надсолевой толщи, позволяющего проследить те или иные особенности разреза с увеличением разносов питающей линии, на пересечении профилей 8 и 9 построена совмещенная схема горизонтальных сечений КС, полученных при различных разносах АВ (рис. 4). Схема позволяет визуально оценить закономерности изменения электрических свойств среды с увеличением глубины (Колесников, 2007).

Анализ сечений кажущихся сопротивлений на выборочных разносах АВ показал, что значения КС исследуемой территории меняются в пределах от 30 до 150 Ом·м. На малых разносах ($AB/2=50$ м), соответствующих эффективной глубине 15 – 20 м, сечение КС характеризует электрические свойства пород в верхней части ТКТ. Сквозная область высоких значений (135-150 Ом·м) в южной части наблюдается с разноса $AB/2=200$ метров и на последнем разносе прослеживается по горизонтали вдоль всего 8 профиля, что согласуется с глубиной залегания опорного геоэлектрического горизонта (кровли переходной пачки и

покровной каменной соли). В северо-западной части рассматриваемого фрагмента наблюдается область пониженного сопротивления, которая прослеживается на всех глубинах. Она может быть связана с наличием зон повышенной трещиноватости, по которым происходит активный водообмен, либо с литологическими особенностями пород слагающих разрез.

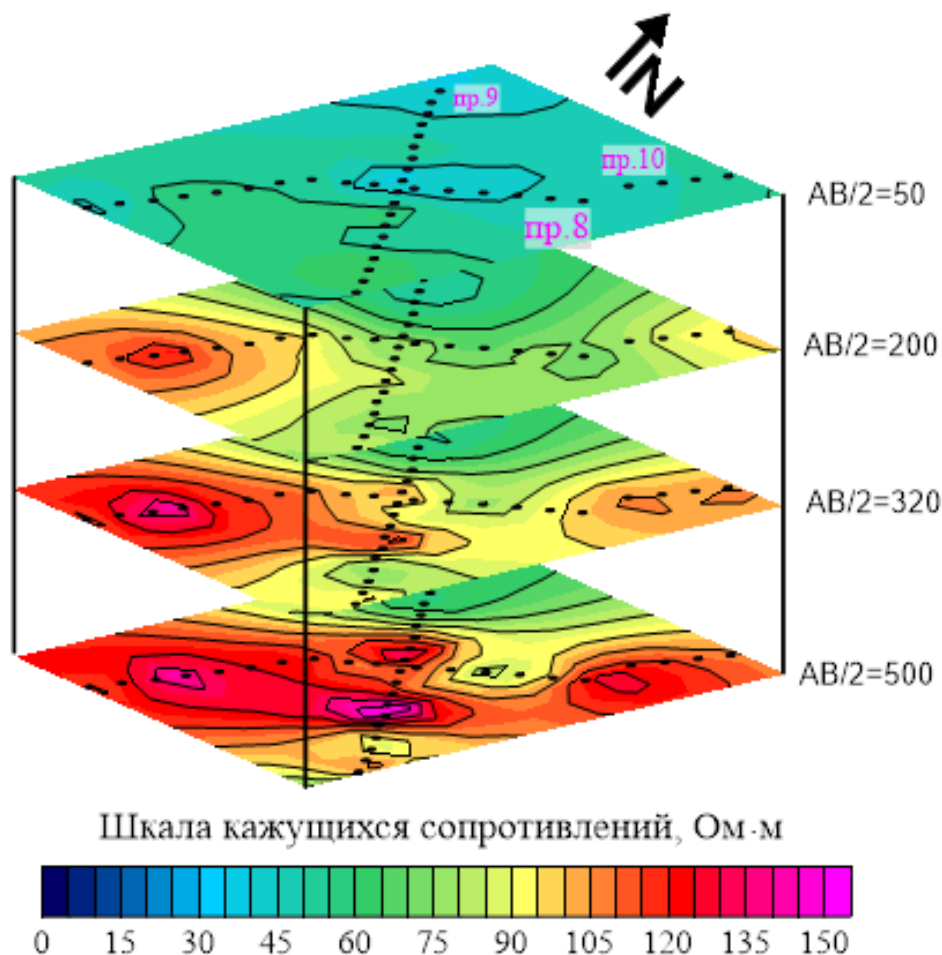


Рис. 4. Горизонтальные сечения поля кажущихся сопротивлений

Результаты электроразведки методом ВЭЗ позволили повысить степень изученности Восточно-Талицкого участка и выделить в северной части зоны пониженных электрических сопротивлений (30-80 Ом·м), приуроченные по глубине к отложениям терригенно-карбонатной, соляно-мергельной толщ, а также к верхней соли.

Библиографический список

1. Колесников В.П. Основы интерпретации электрических зондирований. М.: Научный мир, 2007. 248 с.
2. Кудряшов А. И. Верхнекамское месторождение солей. Пермь: ГИ УрО РАН, 2001. 448 с.
3. Кудряшов А.И., Васюков В.Е., Фон-дерлаасс Г.С. и др.; Разрывная тектоника Верхнекамского месторождения солей / Под науч. ред. А.И. Кудряшова. - Пермь: ГИ УрО РАН, 2004. - 194 с.
4. Степанов Ю.И. О необходимости учета влияния техногенных факторов при истолковании результатов ВЭЗ в условиях ВКМС // Стратегия и процессы освоения георесурсов сборник научных трудов. Вып.11. - Пермь, 2013 - С. 213-215.

ИЗУЧЕНИЕ СОСТОЯНИЯ ПРИПОВЕРХНОСТНОЙ ГИДРОСФЕРЫ МЕТОДАМИ ЭЛЕКТРОМЕТРИИ

Приведены результаты электрометрических исследований приповерхностной части разреза на отдельном участке месторождения нефти. Представлены разрезы кажущихся сопротивлений, геоэлектрические разрезы, схемы изменения кажущихся сопротивлений. Дана оценка минерализации подземных вод вблизи наблюдательной гидрогеологической скважины. Определены возможные причины засоления подземных вод в зоне активного водообмена на отдельном участке нефтяного месторождения.

Ключевые слова: приповерхностная гидросфера, подземные воды, зона аэрации, электрометрия, геоэлектрический разрез, минерализация, наблюдательная скважина, засоление подземных вод

STUDY OF THE STATE OF THE NEAR-SURFACE HYDROSPHERE USING ELECTROMETRY METHODS

Y.I. Stepanov¹, S.M. Kostarev², A.V. Gorozhantsev²

¹Mining Institute UB RAS, Perm, Russia, stepanov@mi-perm.ru

²Perm State University, gav@psu.ru

The results of electrometric studies of the near-surface part of the section are presented. Sections of apparent resistances, geoelectric sections, and schemes for changing apparent resistances are presented. The estimation of groundwater mineralization near the observation hydrogeological well is given. Possible causes of salinization of underground water in the zone of active water exchange in a separate section of the oil field have been determined.

Key words: near-surface hydrosphere, underground water, aeration zone, Electrometry, geoelectric section, mineralization, observation well, salinization of underground water

Негативное воздействие результатов деятельности человека на геологическую среду со временем возрастает, что обязывает недропользователей, в соответствии с условиями выдаваемых лицензий, в рамках эколого-правового регулирования пользования недрами уделять особое внимание обеспечению безопасности и охране окружающей среды (Колесников, Костарев, 2002). Охрана поверхностных и подземных вод, в частности, сохранение пресных вод питьевого качества является одной из основных задач при поисках, разведке, проектировании, разработке и эксплуатации нефтяных месторождений. В районах нефтедобычи при решении экологических задач, в том числе при выявлении зон засоления подземных вод в настоящее время широкое применение нашли методы электрометрии (Колесников, Костарев, Татаркин, 2005).

Представленная публикация, как и более ранние статьи (Степанов и др., 2019), отражает результаты работ, проведённых в 2018 г. лабораторией наземной и подземной электрометрии ГИ УрО РАН в рамках мероприятий по улучшению состояния приповерхностной гидросферы на отдельных участках

нефтяных месторождений ООО "Лукойл-Пермь». Целью исследований является определение методами электрометрии наличия засоления подземных вод и его возможных источников в зоне активного водообмена приповерхностной части разреза на участке Шагиртско-Гожанского нефтяного месторождения.

Совокупность выполненных на исследуемом участке изучаемого месторождения работ включает в себя полевые электроразведочные наблюдения методом вертикального электрического зондирования (ВЭЗ), проведение компьютерной обработки и интерпретации данных электрометрии, установление связей между удельными электрическими сопротивлениями и общей минерализацией имеющих водоносных горизонтов, анализ результатов, определение зон возможного загрязнения подземных вод и его причин.

Согласно техническому заданию на проведение электроразведочных работ объект исследования – это горные породы приповерхностной части разреза относительно устья имеющейся на территории активно разрабатываемого нефтяного месторождения наблюдательной гидрогеологической скважины (511-НГ) в радиусе 300 м. Объект исследовался до глубины не менее 80 м.

Таблица 1. Характеристика пород

№ п/п	Геологический возраст пород	Описание пород	Мощность пласта, м	Глубина подошвы пласта, м
1	Q	Глина с незначительными включениями гальки, гравия	2	2
2	P_2bl	Плотная глина с прослоями песчаника	42	44
3		Песчаник рыхлый, глинистый	4	48
4		Глина плотная с прослоями песка	4	52
5		Аргиллиты с прослоями песчаника и известняка	48	100

Согласно данным ООО «ЧУРС», которое в 1999 г. производило проектирование и сооружение наблюдательной скважины 511-НГ, абсолютная отметка её устья составила 185,15 м, а глубина 90 м. В процессе бурения скважиной пройдены терригенные отложения четвертичного (Q) возраста мощностью порядка 2 м. Глубже по разрезу вскрыты породы пермского возраста (P_2bl), характеристика которых представлена в таблице 1.

По материалам комплекса геофизических исследований, выполненных в 1999 г. Чернушинским филиалом ЗАО «ЛУКОЙЛ-бурение-Пермь» отложения в интервале глубин 21-28 м охарактеризованы как терригенные породы, уплотненные коллекторы, насыщенные пресной водой, а в интервале 40-43,4 м – терригенные породы, коллекторы, насыщенные пресной водой и приуроченные к белебеевской свите казанского яруса. По данным акустической цементометрии (АКЦ) контакт цементного камня с обсадной колонной в интервале глубин 2,4-16,0 м отсутствует. В интервалах глубин 3-5 и 11-14,4 м определён как частичный, а на более глубоких горизонтах – контакт неопределенный.

Лабораторией наземной и подземной электрометрии ГИ УрО РАН в летний период 2018 г. на изучаемом объекте проведены полевые наземные работы с использованием известной (Матвеев, 1990; Справочник, 1990) симметричной четырехэлектродной электроразведочной установки. Измерения производились при помощи хорошо зарекомендовавшего себя аппаратурно-программного комплекса АМС-1, характеризующегося повышенной помехозащищенностью, высокой точностью измерений и позволяющего проводить электроразведку несколькими методами: сопротивлений, естественного поля, вызванной поляризации. Более подробные сведения об отличительных особенностях аппаратуры, технических характеристиках и правилах эксплуатации аппаратуры метода приведены на официальном сайте ООО «НПО УралГеоПоле» (URL: <http://uralgeopole.ru>).

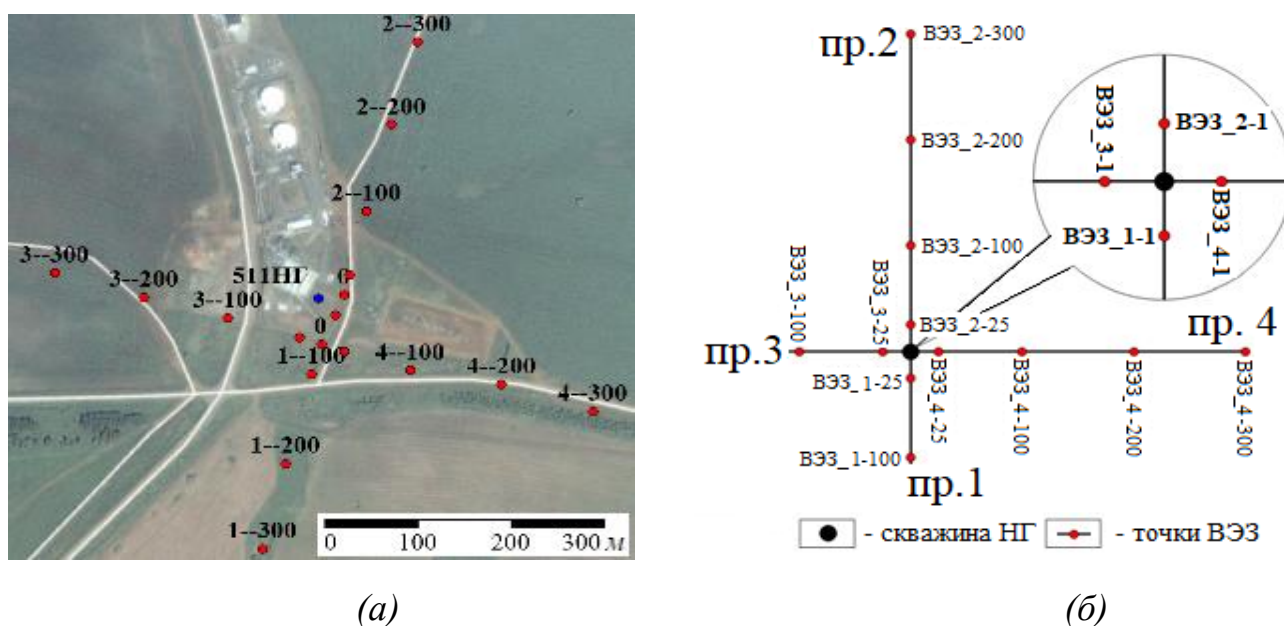


Рис. 1. Общий вид схемы наблюдений на объекте исследования (а) и фрагмент схемы профилей с точками ВЭЗ (б)

Как и на других отдельных участках нефтяных месторождений (Степанов и др., 2019) принятая на исследуемом объекте схема (рис. 1, а) электрометрических наблюдений представляет собой четыре профиля условно группируемые в две взаимно перпендикулярные линии наблюдения: первая линия профиль 1-2, вторая линия профиль 3-4 (рис. 1, б). Каждый из четырех профилей имеет протяженность 300 м. В точке пересечения линий наблюдения находится наблюдательная гидрогеологическая скважина 511-НГ. Точки ВЭЗ на профилях удалены от устья скважины на расстояние 1, 25, 100, 200 и 300 м. В обозначении т. ВЭЗ первая цифра означает номер профиля, а вторая удаленность от наблюдательной скважины в метрах. Таким образом, профиль 1-2 ориентированный с юго-юго-запада на северо-северо-восток включает последовательно точки ВЭЗ с 1-300 по 2-300, а профиль 3-4, пересекающий его в точке расположения устья скважины 511-НГ под прямым углом, включает последовательно точки ВЭЗ с 3-300 по 4-300.

На объекте исследования согласно представленной на рисунке 1 схеме наблюдения в соответствии с техническим заданием выполнены в 20 точках ВЭЗ. В питающей линии АВ электроразведочной установки применялись штыревые стальные заземлители, а в приёмной линии MN штыревые медные. Погрешность наблюдений при выполнении полевых работ составила не более 5%. Сила подаваемого в питающую линию АВ тока I_{AB} не превышала 100 мА. Кажущееся удельное электрическое сопротивление ρ_k горных пород рассчитывалось на основании следующего выражения: $\rho_k = K \cdot \Delta U_{MN} / I_{AB}$, где K – геометрический коэффициент электроразведочной установки.

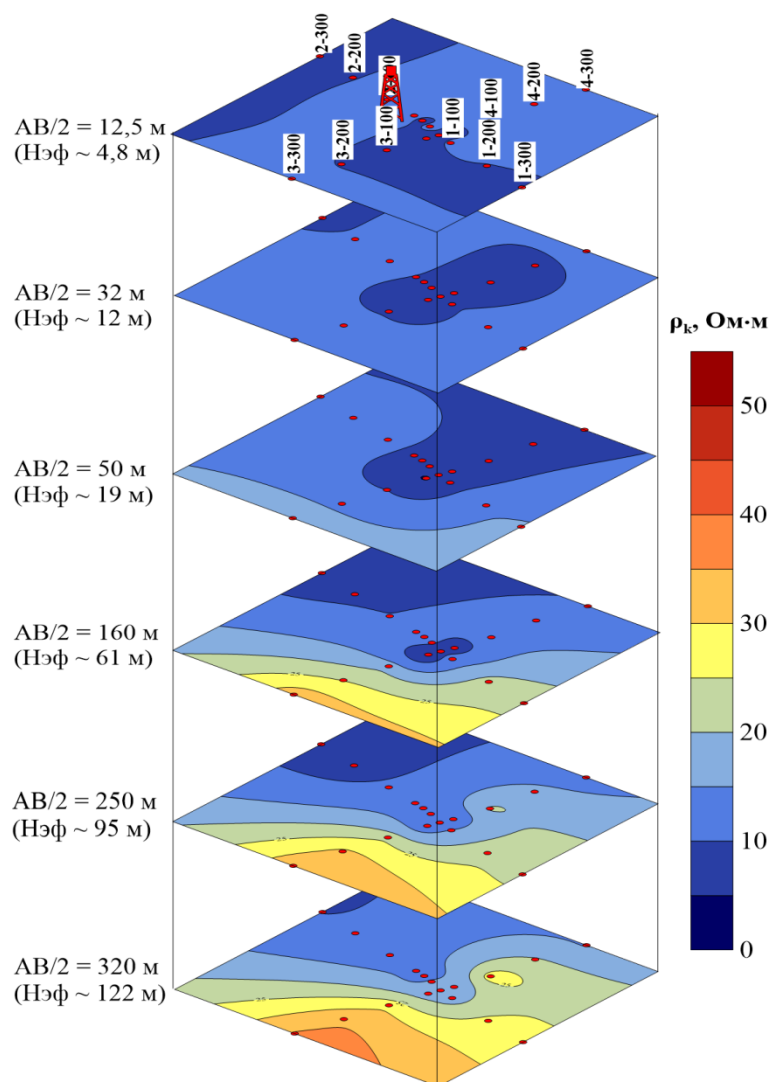


Рис. 2. Планы изом кажущегося сопротивления (скважина 511–НГ)

В процессе цифровой обработки построены планы изом кажущегося сопротивления (КС) (рис. 2) для соответствующих полуразносов питающей линии $AB/2$ и значений эффективной глубины, рассчитываемой с учетом соотношения $H_{эф} \approx AB/6$. Как видно из рисунка 2 для глубины $H_{эф} = 4,8$ м зона пониженных значений отмечается в юго-западной части исследуемого участка между профилями 1 и 3. Такая же зона (широтной ориентации) пониженных значений ρ_k наблюдается в северной части исследуемого участка между т. ВЭЗ 2-200 и 2-300. При увеличении эффективной глубины исследования конфигурация рас-

смаатриваемых зон заметно изменяется. С глубины $H_{эф} = 61$ м хорошо просматривается смещение низкоомной зоны разреза в северо-западном направлении и постепенное возрастание значений ρ_k в интервале глубин $H_{эф} = 61-122$ м, примерно, до 40-35 Ом·м.

Результаты наблюдений обрабатывались и интерпретировались с использованием пакета программ IPI2Win(IP), разработанного на кафедре геофизики ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова». и широко применяемого на практике при обработке данных электроразведки на постоянном токе. Подробнее с особенностями данного пакета можно ознакомиться в руководстве (Бобачев А.А. и др., 2006).

Разрезы КС и геоэлектрические разрезы, построенные по линиям наблюдений принятой схемы наблюдений, приведены на рисунке 3. Отметим, что на разрезах по вертикальной оси отложены абсолютные высотные отметки (Alt) в метрах с учётом отношения $H_{эф} \approx AB/6$, что позволяет строить разрезы с учётом абсолютных отметок рельефа в точках наблюдений.

На разрезе КС (профиль 1-2) отчетливо просматривается зона относительно пониженных (6-8 Ом·м) значений ρ_k в приповерхностном слое между т. ВЭЗ 1-100 и 2-25. Максимальная мощность (40-45 м) этой зоны наблюдается в т. ВЭЗ 1-25, что в данном месте может соответствовать залеганию терригенных коллекторов, которые пройдены скважиной в интервале 21-43,3 м (табл. 1). Вторая зона относительно пониженных значений КС на разрезе просматривается между т. ВЭЗ 2-100 и 2-200 на глубине $H_{эф} = 122$ м, что соответствует абсолютной отметке порядка 80 м. На Профиле 3-4 также выделяются две зоны пониженных значений ρ_k вблизи устья скважины 511-НГ. Первая зона выделяется между точками ВЭЗ 3-100 и 3-25 в интервале абсолютных отметок высот 175 и 125 м (примерно между $H_{эф} = 12$ и 61 м). Вторая зона с центром в районе т. ВЭЗ 4-100 между точками 4-25 и 4-200 в интервале глубин 170-150 м. Взаимное расположение зон в разрезе предполагает большую вероятность их связи.

Геоэлектрические разрезы (рис. 3), также схематично отображают изменение электрических свойств горных пород в разрезе исследуемого объекта. Разрезы в точках ВЭЗ представлены совокупностью 3,4,5, или 6 слоёв. Согласно составленной модели разреза вдоль профиля 1-2 горные породы имеют удельные электрические сопротивления ρ , изменяющиеся в интервале от 4,81 до 88,7 Ом·м. В разрезе по профилю 3-4 они меняются от 3,96 до 94,2 Ом·м. Породы верхней части разреза, являющиеся коллекторами, характеризуются значениями электрического сопротивления ρ от 3,91 до 15,7 Ом·м, а коллекторы основного водоносного горизонта в разрезе характеризуются значениями ρ от 7,25 до 37,8 Ом·м. На профиле 1-2 уменьшение значений электрического сопротивления отмечается в северном направлении.

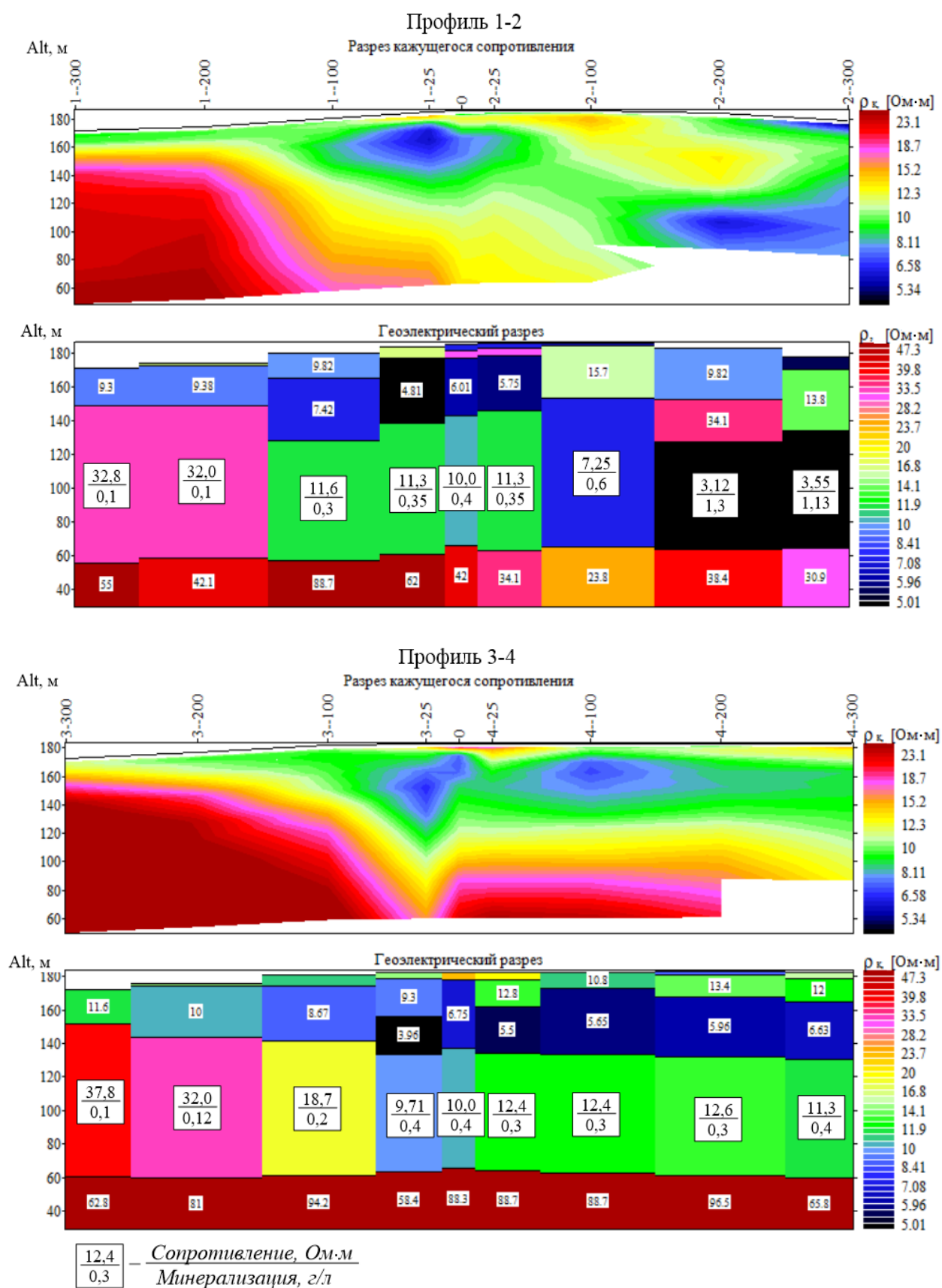


Рис. 3. Разрезы кажущихся сопротивлений и геоэлектрические разрезы по линиям наблюдений профиль 1-2 и профиль 3-4 (0 – положение скважины 511-НГ)

Для подземных вод данного горизонта на основе корреляционных связей между удельным электрическим сопротивлением и водно-физическими свойствами пород (Справочник геофизика, 1990), произведена оценка общей минерализации, значения которой изменяются в пределах от 0,1 до 1,2 г/л (рис. 4). Относительные изменения значений общей минерализации по профилям, в основном, зеркально отображают изменение электрического сопротивления.

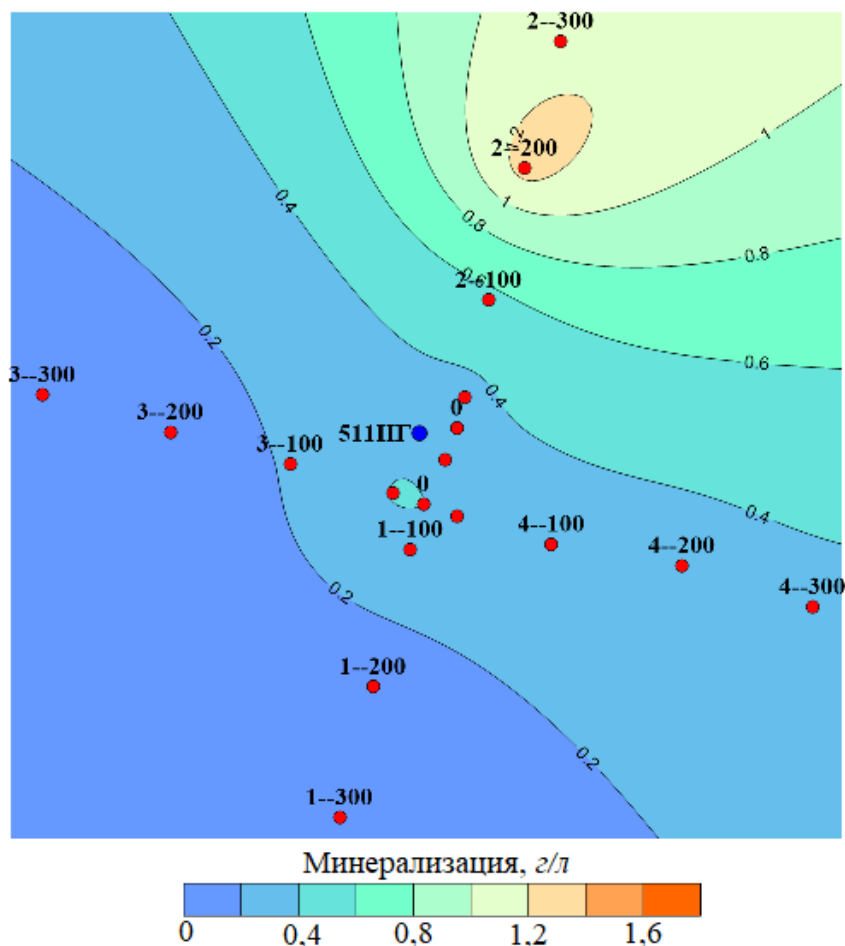


Рис. 4. Схема общей минерализации водоносного горизонта

На представленной схеме увеличение значений общей минерализации уверенно прослеживается в северо-северо-восточном направлении. Вероятно, это связано с проникновением загрязнений в нижележащий горизонт от расположенной поблизости площадки дожимной насосной станции (ДНС), являющейся технологической частью системы сбора нефти и газа, а также их дальнейшей транспортировки на нефтедобывающем предприятии.

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: 31.03.2020).
2. *Инструкция по электроразведке*. – Л. Недра, 1984. – 534 с.
3. *Колесников В.П.* Основы интерпретации электрических зондирований. - М.: Научный мир, 2007. - 248 с.

4. 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.
5. Колесников В.П., Костарев С.М., Татаркин А.В. Применение методов и технологий электрометрии для поиска и геометризации техногенных скоплений флюидов в приповерхностной части геологической среды // Экологическая реабилитация промышленных производств и территорий: сб. статей ФГУП МНИИЭКО ТЭК, Пермь, 2005. – С. 288-301.
6. Комплекс АМС-1 // ООО «НПО Уралгеопол»: [сайт]. URL: <http://uralgeopole.ru> (дата обращения: 31.03.2020).
7. Матвеев Б. К. Электроразведка. Учеб. для вузов. 2-е изд. перераб. и доп. - М.: Недра, 1990. 368 с.
8. Методы электрометрии при поиске участков засоления подземных вод в зоне активного водообмена / Ю.И. Степанов, С.М. Костарев, А.В. Горожанцев, А.А. Тайницкий // Теория и практика разведочной и промысловой геофизики: сборник научных трудов / гл. ред. В. И. Костицын. - Пермь: Перм. гос. нац. исслед. ун-т, 2019 а. № 2 (7). С. 257-264.
9. Результаты электрометрии при поиске участков засоления подземных вод в зоне активного водообмена / Ю.И. Степанов, С.М. Костарев, А.В. Горожанцев, А.А. Тайницкий // Геология и полезные ископаемые Западного Урала / под общ. ред. Красильникова П.А. – Пермь: Перм. гос. нац. исслед. ун-т, 2019 б. – Вып. 2(39). С. 284-292.
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. /. - Пермь : Горн. ин-т 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: сб. ст. по материалам Всеросс. науч.-практ. конф. с междунар. участием / под общ. ред. Р.Г. Ибламинова. – Пермь: Перм. гос. нац. исслед. ун-т, 2000. - С. 203-205.

Д.С. Обернебесов, В.А. Галишевский, О.Н. Ковин
ПГНИУ, obernebesov@gmail.com

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТЕЙ ЭЛЕКТРОТОМОГРАФИИ ПУТЕМ СРАВНЕНИЯ ЕЕ РЕЗУЛЬТАТОВ С РЕЗУЛЬТАТАМИ НАБЛЮДЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТРАДИЦИОННОЙ МЕТОДИКИ ВЭЗ

Применение новых геофизических методов всегда вызывает необходимость заверки их возможностей по сравнению с регулярно используемыми в практике традиционными методиками. Было проведено сравнительное тестирование метода электротомографии и обычной методики ВЭЗ на территории Ботанического сада Пермского государственного национального исследовательского университета вблизи учебной гидрогеологической скважины, обеспечившей параметрические данные для интерпретации. Анализ результатов, полученных двумя методами, показал их практическое совпадение на качественном уровне. Традиционный метод ВЭЗ позволил построить более точную геоэлектрическую модель за счет возможности использования при проведении интерпретации параметрических данных скважины.

Ключевые слова: ВЭЗ, электротомография, скважина, количественная интерпретация.

ASSESSMENT OF FEASIBILITY OF ELECTRICAL RESISTIVITY TOMOGRAPHY IN COMPARISON ITS RESULTS WITH THE RESULTS OF CONVENTIONAL VES TECHNIQUE

Application of the new geophysical methods requires a verification of their effectiveness compared to the routinely used conventional techniques. The comparison testing of the electrical resistivity tomography with conventional VES technique was conducted on the territory of Botanical Garden of the Perm State University near the hydrogeological well providing constraints for resistivity data interpretation. Analysis of the study results showed that they are in agreement with each other qualitatively. The VES method allowed obtaining more accurate quantitative geoelectrical model because of ability to use the borehole constraints.

Key words: vertical electrical sounding, electrical resistivity tomography, well, quantitative interpretation.

В настоящее время электроразведка является одним из наиболее широко используемых методов инженерной геофизики. Разнообразие электромагнитных свойств грунтов позволяет использовать самые разные подходы при изучении физико-геологических свойств верхней части разреза. Методы сопротивлений являются наиболее эффективными и часто используемыми в практике инженерно-геофизических исследований. Эти методы нашли широкое применение при изучении геологического разреза, для обнаружения карстовых полостей и других подземных объектов, поисках подземных вод и обследовании инженерных сооружений (Вартанов, 2012; Torgashov, Kovin, Anderson, 2015)

Возрастающие объемы работ требуют разработки новых высокотехнологических методик проведения полевых наблюдений, обработки и интерпретации регистрируемых данных, которые позволяют повысить детальность и скорость получения результатов и, в конечном счете, снизить их стоимость.

Метод электротомографии, получивший развитие в последнее время, считается одним из наиболее перспективных направлений инженерной геофизики. Он имеет существенные отличия от традиционной методики вертикального электрического зондирования (ВЭЗ) в методике проведения работ, аппаратном обеспечении, и, самое существенное, в методах обработки и интерпретации данных (Колесников, 2016; Loke, Barker 1996). Наиболее надежным способом их сравнения является проведение опытных работ на одном и том же объекте, параметры которого хорошо изучены другими методами.

В данной работе проведена сравнительная оценка эффективности электротомографии и стандартного метода ВЭЗ при изучении приповерхностной части разреза. Работы проводились на территории ботанического сада Пермского государственного научно-исследовательского университета (ПГНИУ). Обработка и интерпретация электроразведочных данных была основана на параметрических данных расположенной вблизи учебной гидрогеологической скважины. Данные, полученные с использованием четырех-электродной установки по методике, имитирующей применение многоканальной системы, были обработаны в системе Зонд (ВЭЗ) (Шевнин, 2001) и Res2Dinv (электротомография) (Колесников, 2016).

Метод электротомографии (ЭТ) представляет собой комплексную методику решения пространственных задач поисковой и инженерной геологии, которая включает в себя как полевые наблюдения, так и обработку, и интерпретацию полученных данных, позволяющую в отличие от метода ВЭЗ проводить двухмерную инверсию данных (Бобачев, Яковлев, Яковлев, 2007) . Фактически, электротомография является комбинацией электрического зондирования и профилирования, но в отличие от традиционных зондирований, со значительно большей плотностью наблюдений, что повышает качество получаемых данных за счет статистического эффекта осреднения. При электротомографических работах обычно используются многоканальные установки с автоматической коммутацией электродов для повышения скорости сбора информации. При отсутствии специализированной аппаратуры при проведении полевых работ нами использовалась обычная четырех-электродная установка с имитацией геометрии измерений используемой при многоканальных наблюдениях методом электротомографии.

Экспериментальные данные для написания данной работы были получены в результате электроразведочных работ, проведенных вблизи учебных гидрогеологических скважин на территории ботанического сада на кампусе ПГНИУ (рис.1). Верхняя часть разреза до глубины порядка 1 метра представлена насыпным грунтом. Под ней залегают породы песчаного, супесчаного и суглинистого состава. На глубине 6,5 м песчано-суглинистая толща подстилается чередующимися аргиллитами и песчаниками. Уровень грунтовых вод в день наблюдений отмечен на глубине около 3,0 метра.

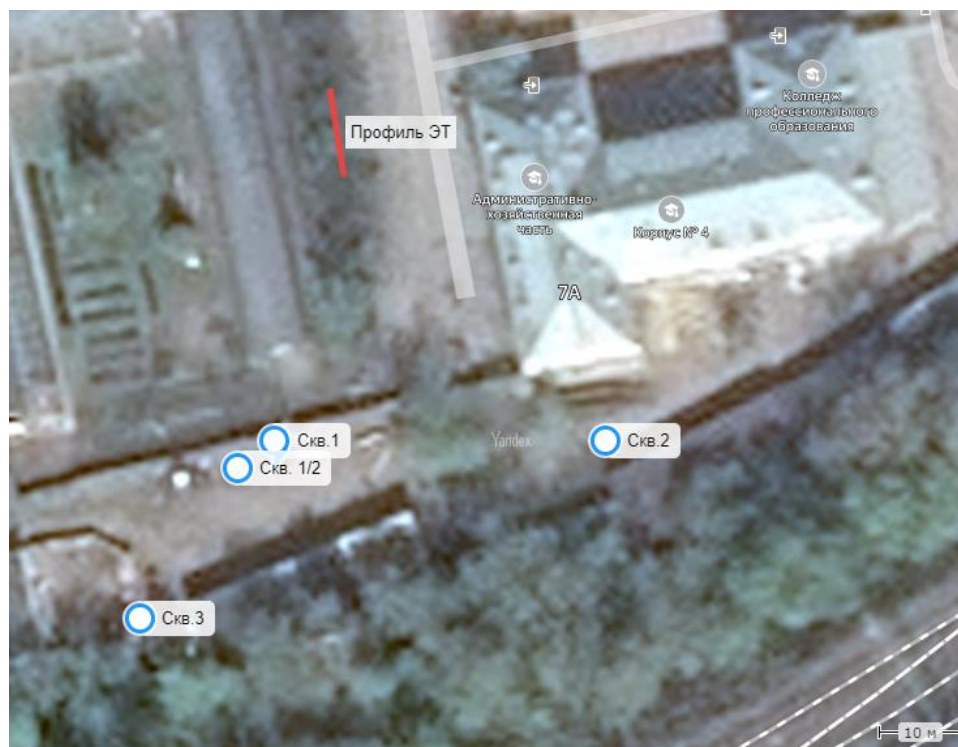


Рис.1. Карта расположения электроразведочного профиля и гидрогеологических скважин на территории ПГНИУ.

Работы выполнены с помощью электроразведочного комплекта АМС-1. Был отработан профиль длиной 9 м. Методика работ полностью соответствовала методике наблюдений ВЭЗ с установкой Шлюмберже. Для имитации метода электротомографии интервал между соседними позициями электродов был принят постоянным, а его длина составила 1 м. Всего на каждом из 10 пикетов совершено по 20 измерений с размерами питающей линии АВ/2 1,5-20,5 м при постоянном шаге увеличения разноса в 1 м. Для измерения потенциала использовалась линия MN равная 1 м.

Для обработки экспериментальных данных применялось две специализированные программы – включенный в комплект с АМС-1 пакет программ «Зонд» (Колесников, 2016), позволяющий проводить одномерную инверсию с использованием параметрического материала и малазийское программное обеспечение Res2Dinv (Шевнин, 2001), особенностью которого является возможность проведения двумерной «томографической» инверсии данных.

Результаты качественной интерпретации данных ВЭЗ представлены на рисунке 2. На разрезе кажущихся сопротивлений четко прослеживаются две аномальные зоны: область повышенных сопротивлений на эффективных глубинах порядка 2-4 м и область пониженных сопротивлений в нижней части разреза. Подобного рода картина распределения сопротивлений свидетельствует о наличии трех слоев, контрастных по геоэлектрическим свойствам.

На рисунке 3 представлены результаты двумерной автоматической инверсии данных, выполненной в программе Res2Dinv. Полученная геоэлектрическая модель среды качественно соответствует разрезу кажущихся сопротивлений (рис. 2), а также данным бурения (рис. 4).

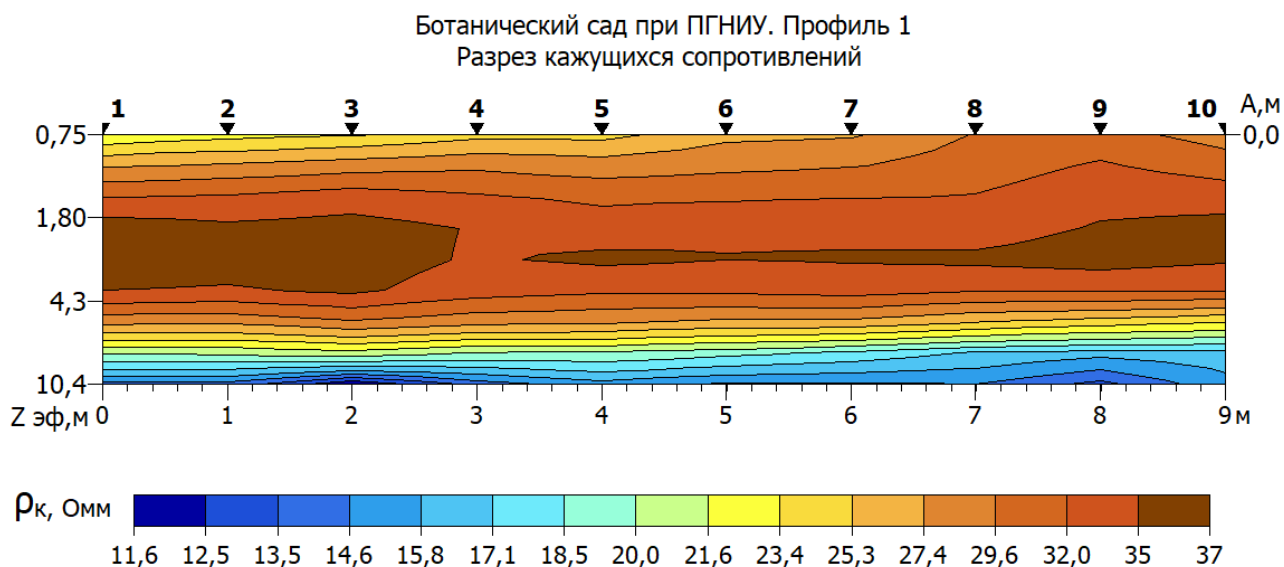


Рис. 2. Результаты качественной интерпретации данных в программе «Зонд» (шаг пикетов 1 м; длина профиля 9 м).

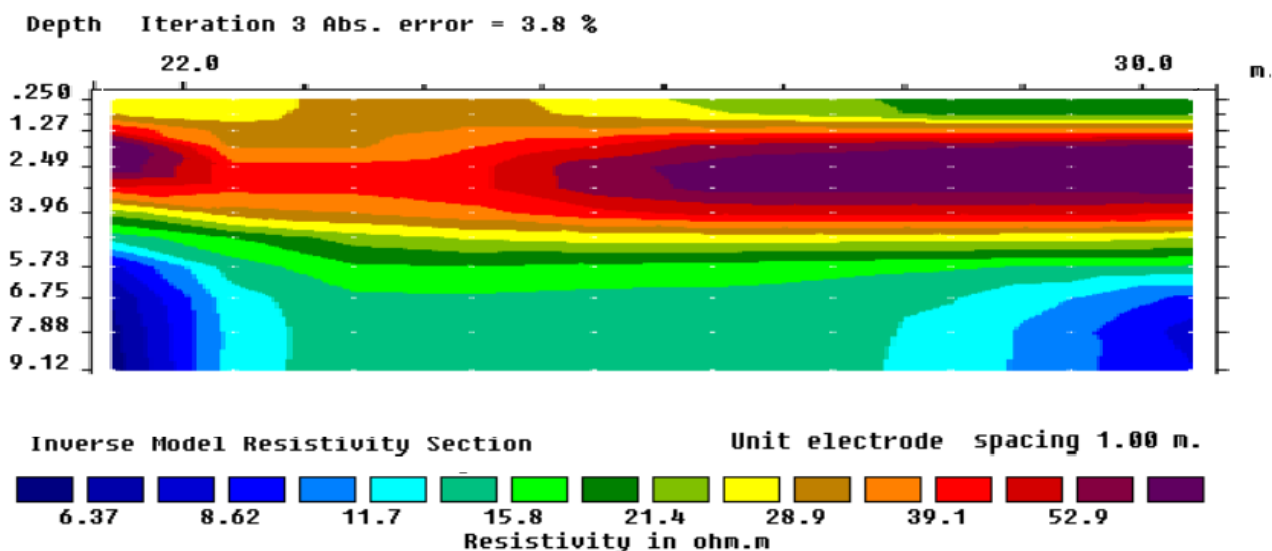


Рис. 3. Распределение удельного электрического сопротивления - результат двумерной инверсии данных (по оси X указано расстояние от последнего разноса питающей линии для первого пикета в соответствии с геометрией метода электротомографии).

Скважина 1
отметка устья 98,3м

Геологический индекс	Описание грунта	Глубина залегания слоя, м		Мощность, м	Абс. отметка подошвы слоя, м	Литологическая колонка
		от	до			
Ю _м	Щебень известняка, фракция 1-4см	0,0	0,2	0,2	98,1	1
Ю _м	Насыпной грунт плотный, слежавшийся, старый, темно-серый, представлен несом средней крупности, малой степени водонасыщения, слаботорфованным, со строительным мусором в виде кусков бетона, битого кирпича, щебня, стекла, металла, размер включений до 15см, общее количество от 30% до 50%, с прослойками суглини до 0,1м	0,2	1,1	0,9	97,2	
		1,1	1,4	0,3	96,9	2
		1,4	3,3	1,9	95,0	3
		3,3	3,7	0,4	94,6	4
		3,7	4,2	0,5	94,1	5
бО _м	Суглинок темно-коричневая, песчаная, текучая, среднеторфованная	4,2	4,8	0,6	93,5	6
аО _м	Песок желтовато-коричнево-серый мелкий, насыщенный водой	4,8	5,7	0,9	92,6	7
аО _м	Суглинок серовато-коричневый, легкий песчаный, мягкопластичный	5,7	6,5	0,8	91,8	8
аО _м	Суглинок коричневый тяжелый пылеватый, тугопластичный					9
аО _м	Песок гравелистый, насыщен водой, гравия до 45%	6,5	9,0	2,5	89,3	10
аО _м	Грунт гравийный с песчаным водонасыщенным заполнителем до 40%, гравий и галька полимиктовые, до 4см					11
аО _м	Суглинок коричневый легкий песчаный, мягкопластичный, с гравием до 10 - 15%					12
Р ₁	Аргиллит коричневый, сильновыветрел, сильнотрещиноватый, маловлажный, в кровле разрушен до древеснистой отдельности, с прослойками алевролита серого сильновыветрелого до 0,1м	9,0	12,7	3,7	85,6	13
						14
						15
						16
						17
						18
						19/1
						20
						21
						22
						23
						24
						25
						26
						27
						28
						29
						30

Рис. 4. Данные гидрологической скважины 1.

На глубинах до 1 м выделяется слой относительно пониженных сопротивлений, относящийся к слою плотного слежавшегося насыпного грунта слабой степени заторфованности. Изменения сопротивления вдоль профиля скорее всего связаны с перераспределением грунта в ходе строительных работ. Наблюдаемый ниже относительно высокоомный участок разреза относится к слою супеси и песка. Слой низких удельных сопротивлений фиксируется на глубинах 3-4 м и, скорее всего, относится к слою суглинков и нижележащих водонасыщенных гравелистых песков. Кровля аргиллитов на глубине около 7 м на геоэлектрическом разрезе не выделяется из-за сильной трещиноватости и обводненности верхней части коренных пород. Области аномально низких удельных электрических сопротивлений по краям разреза вероятно связаны со артефактами генерируемыми алгоритмом обработки на краях матрицы данных. Полученная геоэлектрическая модель достаточно точно представляет распределение удельного сопротивления в разрезе, но для более точного определения глубин границ его элементов необходимо использовать дополнительную информацию, которая может быть представлена данными бурения. К сожалению использованная модификация программы Res2Dinv не позволяла применить данную опцию.

Количественная интерпретация в программе «Зонд» выполнена с целью геологической привязки электроразведочных данных и определения параметров элементов изучаемого разреза. Интерпретация выполнена с использованием данных бурения (рис.4). В качестве параметрического было выбрано зондирование на пикете 1. Эффективная глубина проникновения ВЭЗ в соответствии с теоретическими положениями была принята равной $AB/4$. Результаты интерактивной инверсии кривой ВЭЗ на первом пикете представлены на рисунке 5.

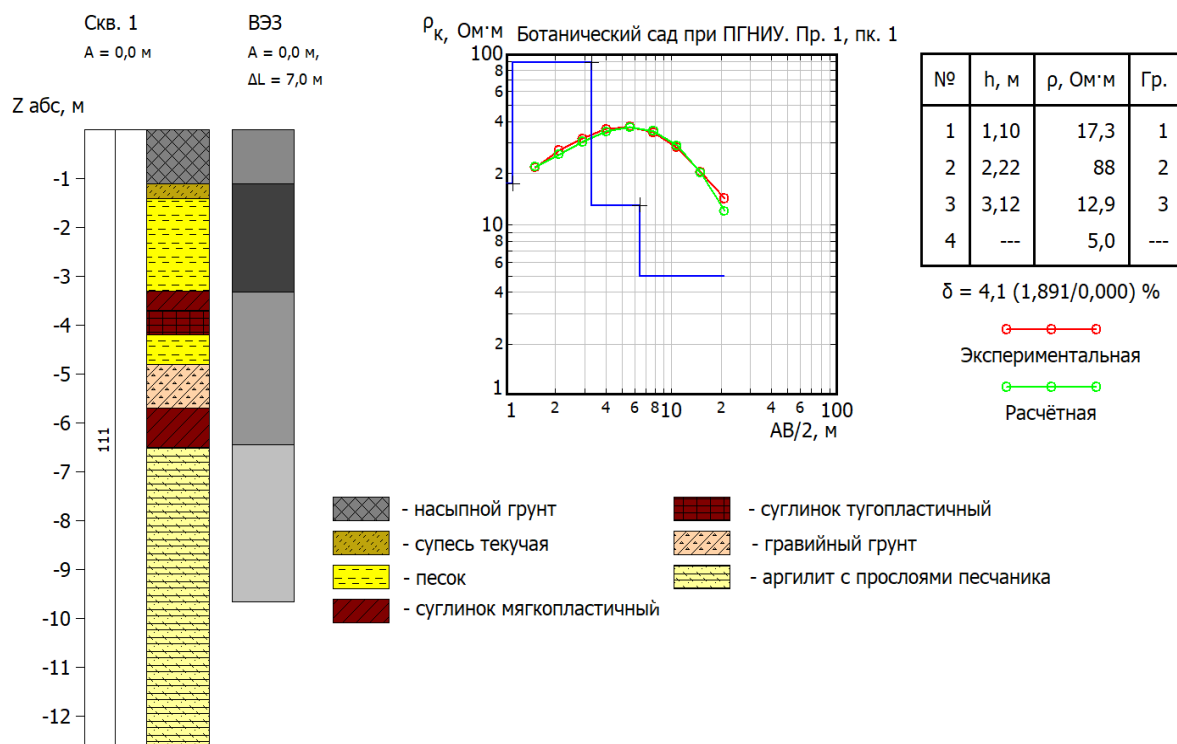


Рис. 5. Результат подбора модели среды на первом пикете ВЭЗ.

Геоэлектрический разрез с нанесенной литологической штриховкой представлен на рисунке 6.

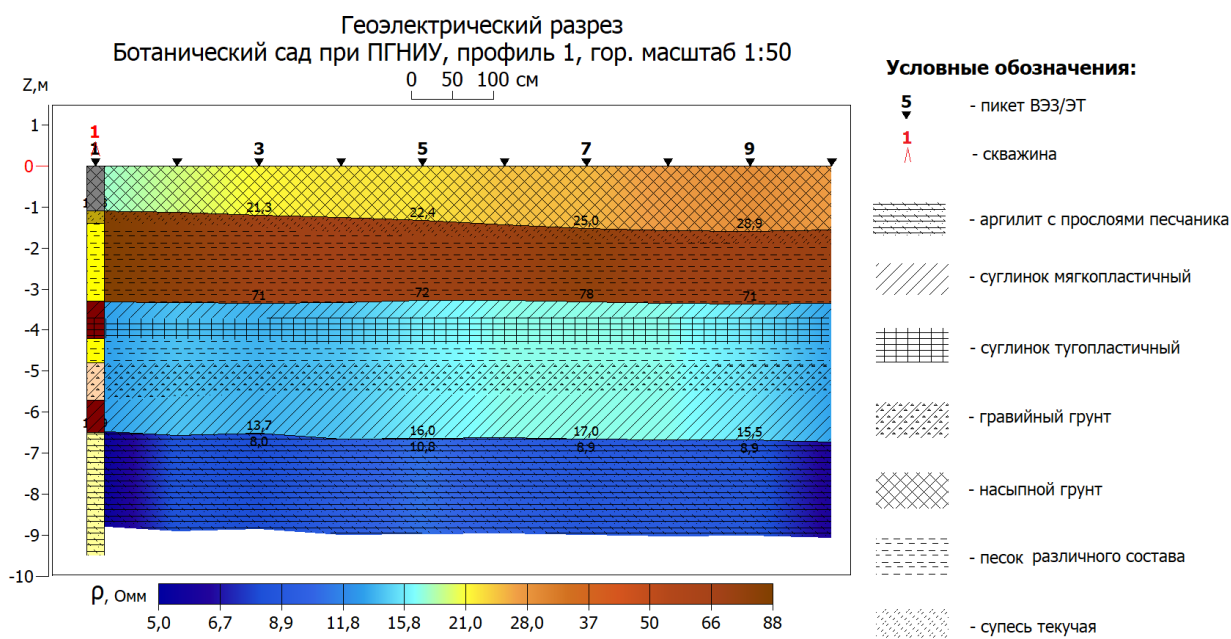


Рис. 6. Геоэлектрический разрез, построенный по данным ВЭЗ.

Полученный геоэлектрический разрез согласуется с данными бурения в пределах пятипроцентной погрешности и хорошо коррелируется с геоэлектрической моделью среды, полученной в результате томографической инверсии. Значения удельных сопротивлений в обоих случаях изменяются в одном диапазоне.

Первый слой представлен насыпным грунтом с небольшими изменениями удельного электрического сопротивления (УЭС) вдоль профиля аналогично изменениям, наблюдаемым на разрезе электротомографии. Мощность слоя – порядка 1 м. Второй слой с высокими значениями УЭС имеет мощность порядка 2 м. Он образован слоями супеси и мелкого песка. Третий слой характеризуется пониженными удельными сопротивлениями и соответствует пачке слоев суглинков и водонасыщенного гравелистого песка, расчленение которых в рамках геоэлектрической среды невозможно из-за их малых мощностей. Мощность геоэлектрического слоя около 3 м. Слой пониженных сопротивлений на глубине 6,5 м подстилается низкоомными сильнотрещиноватыми аргиллитами с прослоями песчаника. Значения УЭС слоя скорее всего занижены, так как глубина исследования не достигает глубин влияния слоя высокоомных коренных пород и его выделение излишне.

На основе анализа полученных данных можно сделать вывод, что метод электротомографии в условиях горизонтально-слоистого разреза дает результаты практически идентичные получаемым традиционным методом ВЭЗ и может успешно использоваться при литологическом расчленении верхней части разреза. Вместе с тем, одномерная инверсия данных показывает лучшие результаты количественной интерпретации. Более высокое качество количественной интерпретации кривых ВЭЗ обеспечивается прежде всего возможностью интер-

активного подбора модели среды в соответствии с опытом интерпретатора и учетом дополнительной информации (данных скважин). Метод электротомографии имеет преимущества в скорости получения конечного результата и минимизации субъективного фактора при интерпретации получаемых данных.

Библиографический список

1. Бобачев, А.А., Яковлев А.Г., Яковлев Д.В. Электротомография – высокоразрешающая электроразведка на постоянном токе // Инженерная геология. – 2007. – № 3. – С. 31–35.
2. Вартанов А. З. Физико-технический контроль и мониторинг при освоении подземного пространства городов. М.: “Горная книга”, 2012. – 544 с.
3. Шевнин В.А. Инструкция к программе RES2DINV. М.: Издательство МГУ, 2001. – 54 с.
4. Колесников В.П. Электрометрия. Теоретические основы методов электрометрии: учебное пособие. Пермь: Издательство ПГНИУ, 2019. – 264 с.
5. Колесников В.П. Интерпретация электрических зондирований с использованием системы программ Зонд. Пермь: Издательство ПГНИУ, 2016. – 212 с.
6. Loke M.H., Barker R.D., Rapid least-squares inversion of apparent resistivity pseudosections using a quasi-Newton method // Geophysical Prospecting. -1996. -№44. –С.131-152.
7. Torgashov E.V., Kovin O.N., Anderson N.L. A Case Study on Usage of Electrical Resistivity Tomography for Dam Seepage Location, Chesterfield, Missouri // Вестник Пермского университета. Геология. -2015. -V. 2. -№27. -С. 34-40.

ГИДРОГЕОЛОГИЯ И КАРСТ

В.Н. Катаев, С.В. Щербаков, И.Г. Ермолович
ПГНИУ, kataev@psu.ru; greyvr@mail.ru; ermol@psu.ru

ОБЩЕГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД К КАРСТОЛОГИЧЕСКОМУ ПРОГНОЗУ

В работе представлены основные общегеологические аспекты карстологического прогноза, выполняемого по результатам инженерно-геологических исследований в различных целях – для подготовки документации территориального планирования, строительства и эксплуатации объектов. Рассмотрены вопросы значимости выделения типов геологического разреза изучаемого карстового массива, вопросы учета структурно-текстурных особенностей карстующейся толщи, вопросы учета, вскрываемых при бурении зон дробления и оценки влияния рельефа кровли карстующихся отложений на распределение форм подземного и поверхностного карста.

Ключевые слова: карстологический прогноз, общегеологический подход, тип геологического разреза, зоны дезинтеграции, подземный карстовый рельеф.

V.N. Kataev, S.V. Scherbakov, I.G. Ermolovich
Perm State University, kataev@psu.ru; greyvr@mail.ru; ermol@psu.ru

GENERAL GEOLOGICAL APPROACH TO KARSTOLOGICAL FORECAST

The article presents the main general geological aspects of the karstological forecast, carried out on the results of engineering and geological studies for various purposes – to prepare documentation of territorial planning, construction and operation of structures. The issues of importance of the selection of geological cut types of the studied karst massif, issues of accounting for structural and textural features of the karsted thickness, issues of accounting, opened during drilling zones of crushing and assessment of the impact of the relief of the karst sediment roof on the distribution of the underground and surface karst forms are considered.

Key words: karstological forecast, general geological approach, type of geological cut, disintegration zones, underground karst relief.

Введение. Общегеологический подход в нормативной документации. В последнее десятилетие Пермской школой геологов-карстоведов предпринимаются попытки смещения акцентов в содержании карстологического прогноза с анализа параметров поверхностных форм карста и их формального распределе-

ния по территории, что в основном рекомендуется нормативной документацией, на анализ, в основе которого учитываются особенности геолого-гидрогеологического строения карстующегося массива, оказывающие влияние на пространственное распределение поверхностных и подземных форм карста. Иными словами, идея общегеологического подхода основана на принципе оценки степени безопасности освоения закарстованных площадей, введенном основателями инженерной геологии. В свое время еще И.В. Попов, отмечал, что в основе выделения категорий устойчивости площадей должны быть результаты изучения характера рельефа, геологической структуры, грунтовых условий, гидрогеологических условий, современных физико-географических процессов. Кроме того, он указывал, что можно рекомендовать выделение инженерно-геологических участков только по признаку закарстованности, но такие карты не могут считаться инженерно-геологическими без учета природных факторов в локальном и в региональном аспектах (Попов, 1959). В 1964г., анализируя карстовые районы Урала и Предуралья, В.С. Лукин отметил, что метод оценки устойчивости территорий по количеству впадин на 1км²/год или 100 лет хорош при мелкомасштабных исследованиях, где возможно введение среднеплощадной оценки провалообразования, но несостоятелен при крупномасштабных из-за крайней неравномерности развития карста. Здесь, отмечал автор, целесообразнее всего оценить рельеф карстующихся пород, мощность покровной толщи, положение уровня грунтовых вод, их химизм, местоположение подземных полостей (Лукин, 1964). В пределах каждого типа обстановки закономерности развития и распределения карста, а следовательно, и оценка карстоопасности обладают специфическими чертами.

Причина изменения взглядов на карстологический прогноз основывается на анализе развития методологии оценки карстоопасности с конца 40-х годов прошлого века до современного периода. Анализ свидетельствует о том, что инженерная геология карста в вопросах нормативной оценки устойчивости территорий пошла по пути совершенствования методов стандартного прогнозирования провалообразования, снизив активность глубокого изучения геологических основ и закономерностей развития закарстованного массива (Катаев, 2001; Толмачев, Леоненко, 2001).

Итоги упомянутого анализа прямо или косвенно подтверждаются и в более поздних обзорах нормативных документов по инженерно-геологическим изысканиям на закарстованных территориях. Практически все авторы таких обзоров отмечают, что вопросам изучения условий и факторов развития карста уделяется мало внимания (Костарев, Малахов, 2014; Костарев, 2015; Толмачев, 2015).

Именно эти причины побудили в свое время обобщение регионального карстологического опыта в Территориальных строительных нормах (ТСН). В этих документах указывалось, что оценка устойчивости не допускается без достаточного изучения закономерностей развития и проявления карста. К сожалению, сегодня эти нормы выведены из обращения.

Однако, есть надежда, что ситуация изменится. В настоящее время ведется работа над проектом нового нормативного документа федерального уровня свода правил «Инженерные изыскания для строительства на закарстованных

территориях. Общие требования». Документ, в разработке которого участвуют и авторы настоящей статьи, направлен на развитие положений действующих СП, но самое главное, что этот документ учитывает региональный опыт карстологических исследований, естественно включая и опыт, накопленный пермскими геологами-карстоведами.

В данной работе мы не останавливаемся на специфике сложных прогнозных построений – от создания тематических каталогов, тематических карт и иных графических построений, не затрагиваем методы многопрофильной интерпретации полученных результатов. Все эти вопросы, так или иначе, рассмотрены в современных публикациях (Ерофеев, Катаев, 2010; Кадебская, Пятунин, 2009; Катаев, Ковалёва, 2013; Толмачев, 2003; Щербаков., Катаев, 2011). Мы рассмотрим только отдельные моменты в обеспечении общегеологических подходов к прогнозным построениям – это вопрос значимости выделения типов геологического разреза изучаемого карстового массива, вопрос учета, вскрываемых при бурении зон дробления (зон повышенной трещиноватости) и оценка влияния рельефа кровли карстующихся отложений на распределение форм подземного и поверхностного карста. По нашему мнению, именно эти вопросы остаются при выполнении карстологического прогноза за рамками должного внимания инженеров-геологов.

Терминологическая база и методология общегеологического подхода. Учитывая тенденции развития подходов к карстологическому прогнозу в Пермской школе геолого-карстоведов были сформулированы основные понятия.

Карстовый массив в нашей интерпретации – это геологическое тело, имеющее границы различной геологической природы или различного типа, состояние и развитие которого определяется степенью реализации основного свойства части слагающих его горных пород: при контакте с природными или природно-техногенными водами относительно активно, закономерно во времени и пространстве, преобразовываться через комплекс процессов, явлений и форм растворения, эрозии, аккумуляции и гравитационного обрушения.

Отметим, что карстовый массив – это часть геологической среды, динамичная геосистема, поскольку его структура не является жесткой, не меняющейся со временем. Массив карстующихся пород – геосистема, стремящаяся к морфологическому, гидродинамическому и гидрохимическому балансу с меняющимися условиями. В случае дисбаланса неизменно активизируются экзогенные (карстовые, суффозионные, гравитационные, эрозионные) процессы или ряд из них прекращает свое существование (Катаев, 2004).

Под **карстологическим прогнозом** мы понимаем научно обоснованное (аргументированное) предсказание условий и факторов состояния, последовательности и механизма развития карстового массива в целом или его отдельных элементов, включая карстовые формы (Катаев, 2001).

С элементами ослабления карстового массива ассоциируются выявленные при изысканиях зоны с высокой плотностью системных трещин, зоны дробления, разломы и их фрагменты, полости и полостные системы, зоны интенсивной кавернозности (Катаев, 1994, 2004; Щербаков, Катаев, 2014). Элементы

ослабления массива являются границами, вдоль которых происходит анизотропное накопление явлений в первую очередь за счет создания гидродинамических и гидрохимических барьерных ситуаций.

Итак, общегеологический подход к оценке карстоопасности с одной стороны предполагает углубленный анализ влияния геолого-гидрогеологических условий и факторов на распределение форм поверхностного и подземного карста, а с другой доступность получения качественных и количественных характеристик строения исследуемого массива.

Очевидными являются и базовые комплексы индикационных признаков и параметров массива, сложившиеся в практических приложениях инженерного карстоведения. В первую очередь это:

I. Группа геологических параметров

- тип геологического разреза, определяемый пространственным соотношением карстующихся, подстилающих и перекрывающих отложений, их мощностями, неоднородностью литологического состава, структурно-текстурными неоднородностями (по латерали и глубине залегания).

Анализ строения карстовых массивов позволяет выделить в их составе типичные литологические комплексы, пространственное сочетание которых часто определяет тип карста, его морфологические особенности, распределение поверхностных и подземных форм, а в конечном итоге степень устойчивости территории. Закарстованные территории, особенно слоистого сложения характеризуются большим набором типов геологического разреза. Например на территории г.Кунгура выделено 13 типов, анализ которых с точки зрения проявления карстового процесса позволяет выделить наиболее опасные (рис. 1) для их более детального изучения.

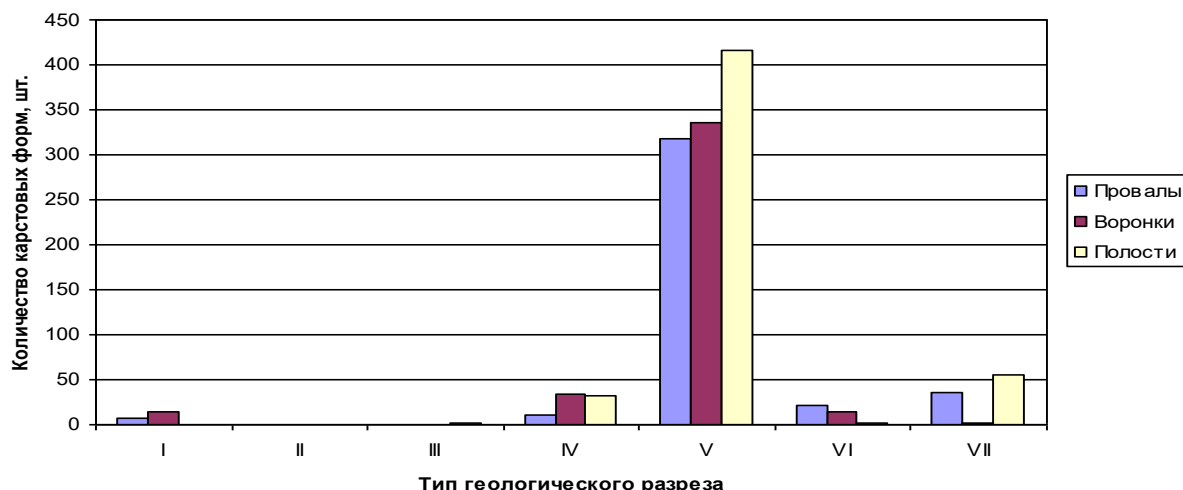


Рис. 1. Частота встречаемости карстовых форм в пределах территорий с определенным типом геологического разреза (г.Кунгур) (Катаев,Кадебская,2010)

V тип разреза представлен переслаиванием сульфатных и карбонатных слоев иренского горизонта, перекрытых обвальными-карстовыми отложениями неоген-четвертичного возраста, которые в свою очередь покрыты четвертичными аллювиально-делювиальными отложениями. На участках с данным типом разреза

зафиксировано 318 провалов, 336 воронок, 416 подземных карстовых полостей.

Иная ситуация зафиксирована на территории с. Усть-Кишерть, где выявлено XI типов геологического разреза и первые шесть из них относительно опасны с позиции устойчивости (рис. 2, табл. 1).

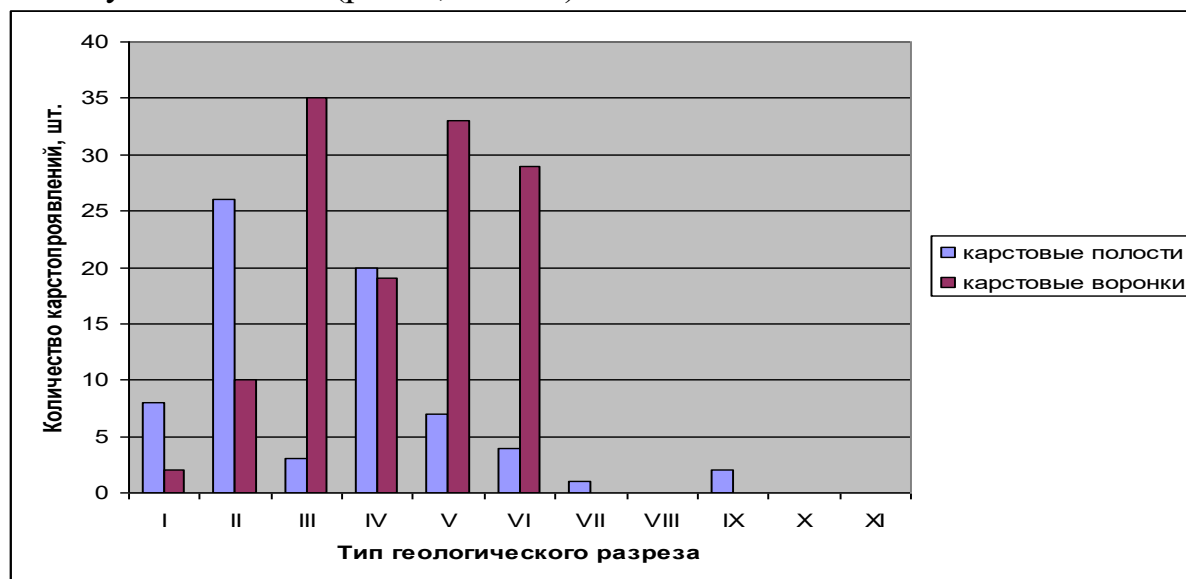


Рис. 2. Частота встречаемости карстовых форм в пределах участков с различным строением (с. Усть-Кишерть)

Таблица 1. Типы геологических разрезов на территории Кишертского района

Тип геологического разреза	Геологическое строение (последовательность залегания литологических слоев)		
I	Четвертичные отложения (Q)	Сульфатные породы (P1ir)	-
II	Четвертичные отложения (Q)	Сульфатно-карбонатные породы (P1ir)	-
III	Четвертичные отложения (Q)	Карбонатные породы (P1ir)	-
IV	Четвертичные отложения (Q)	Неоген-четвертичные отложения (N-Q)	Сульфатные породы (P1ir)
V	Четвертичные отложения (Q)	Неоген-четвертичные отложения (N-Q)	Сульфатно-карбонатные породы (P1ir)
VI	Четвертичные отложения (Q)	Неоген-четвертичные отложения (N-Q)	Карбонатные породы (P1ir)

Учитывая современные представления о критериях карстоопасности (наличие и образование провальных форм больших поперечных размеров), наиболее опасны с позиции развития внезапных провалов ситуации, когда на карстующихся породах залегают осадочные полускальные слои или когда карстующиеся толщи выходят на поверхность и представлены переслаиванием отложений разной интенсивности растворения (карбонатно-сульфатный, сульфатно-карбонатный и другие типы). В этом случае трещиноватая кровля способствует избирательному растворению и формированию крупных полостей в относительно легко растворимых породах, образованию над ними арок или плоских перекрытий, создающих предпосылки для последующего катастрофического обрушения.

II. Группа структурно-тектонических параметров

- принадлежность прогнозируемого участка (района) к пликативным или дизъюнктивным структурам различного порядка, их элементам, наличие установленных при бурении или геофизическими методами в разрезе и по латерали в пределах определенных глубинных интервалов зон повышенной трещиноватости или зон дробления.

Необходимо учитывать то, что зачастую при интерпретации данных бурения или геофизических исследований выявленные зоны дробления или зоны интенсивной трещиноватости в закарстованной толще и зоны разуплотненных грунтов в покровах, отождествляют с карстовыми полостями, имеющими различную степень заполнения. Принципиальное разделение зон дезинтеграции пород и полостей является важным моментом при построении эффективных прогнозных схем. Как правило, зонам дробления в геологическом разрезе соответствуют интервалы повышенной интенсивности бессистемных трещин, характеризующиеся раздробленностью пород до крупно- и мелкообломочных разностей (глыбы, щебень, дресва) или мучинистого (пылеватого) состояния. Зоны трещиноватости, как правило, образованы сгущением системных трещин. Интервалы развития зон дробления и зон трещиноватости в силу их повышенной локальной водопроницаемости являются потенциально оптимальными участками для развития подземной пустотности (табл. 2).

Таблица 2. Усредненные морфометрические параметры зон дробления в районах развития карбонатно-сульфатного карста Предуралья

Территория исследования	Количество вскрытых бурен- ним форм, шт.	Вертикальные размеры полостей и зон дробления, м		
		min	max	среднее
Зоны дробления				
г. Кунгур	386	0,1	13,8	3,4
пгт Полазна	82	0,5	21,0	4,4
Ординский район	408	0,1	28,0	3,4
пос. Октябрьский	221	0,1	31,5	2,9

Примечание: зоны дробления были вскрыты во всех литологических разностях коренных отложений: гипсоангидритах, доломитах, известняках, мергелях.

В связи с этим, фиксация зон дезинтеграции пород различных типов в процессе инженерно-геологических изысканий на закарстованных территориях дает возможность исследователю получить дополнительную информацию о пространственном распределении участков потенциально возможного наличия карстовых подземных форм.

Отметим и еще одну ассоциацию параметров в данной группе, напрямую зависящую от интенсивности развития тектонических трещин – параметры, характеризующие конфигурацию кровли карстующейся толщи, ее морфологические элементы и их связь с карстовыми формами. Установление особенностей рельефа кровли карстующейся толщи, его элементов (останцы, линейные и плоские депрессии, седловины между останцами), является базовым оценочным признаком на «закрытых» территориях – территориях с техногенноизмененным рельефом в условиях, например, градопромышленных агломераций. Очевидно, рельеф кровли карстующихся пород является отражением трещинной структуры массива, дифференцирующей степень водопроницаемости и локализирующей поверхностные и подземные воды, что в конечном итоге определяет интенсивность растворения и локализацию полостей в пласте и воронок в перекрывающих отложениях. При анализе рельефа кровли иренского горизонта в пределах территории с.Усть-Кишерть было выявлено, что наибольшей плотностью полостей характеризуются склоны останцов и депрессии (особенно линейного типа), на вершинах останцов, как правило, полости отсутствуют (Ковалёва, Катаев, 2014). Аналогичные результаты были получены и при анализе подземного рельефа различных отложений в пределах Полазненской локальной структуры (табл. 3).

Таблица 3. Закарстованность элементов подземного карстового рельефа (Полазненское локальное поднятие)

Длина тектонических трещин, м/га	Элемент рельефа	Коэффициент закарстованности, %					
		На поверхности массива		В обвальнокарстовых отложениях		В гипсоангидритах	
		объемный	площадной	объемный	площадной	объемный	площадной
100	вершины останцов	0,00	0,01	0,01	0,50	0,02	0,49
100-200	Склоны останцов	0,11	0,31	0,65	8,30	0,36	2,34
200-400	межостанцовые седловины	0,04	0,12	0,33	4,00	0,09	1,05
более 400	депрессии	0,02	0,10	0,02	0,81	0,25	2,45

III. Группа гидрогеологических параметров

- наличие водоносных горизонтов, уровни подземных вод относительно расположения глубинных интервалов интенсивного развития карстовых полостей и зон дезинтеграции в покровах и в толще карстующихся пород, химический состав вод.

Оценивая гидрогеологические факторы образования провалов, отметим большую роль вертикальной фильтрации подземных вод через слабопроницаемые слои в пластовых напорных системах. Роль вертикальной фильтрации была определена в гидрогеологии в 60-х – 80-х годах XX-го столетия. В карстоведении роль вертикальных перетоков в слоистых водонапорных системах верхнего гидрогеологического этажа была определена в 90-х годах XX века, а позднее детально проработана А.Б. Климчуком. Им была развита концепция «поперечного» (сквозь пластового, сквозь формационного) спелеогенеза и впервые обосновано выделение глубинного карста в напорных водообменных системах (Klimchouk, 2005, 2009). Особенно велика роль вертикальной фильтрации в слоистых толщах сульфатно-карбонатных массивах, где подземные воды, часто в зависимости от водности сезона характеризуются напором, а места их вертикальных перетоков по ослабленным зонам характеризуются наличием вод различных гидрохимических фаций.

Практика гидрохимических исследований в сульфатно-карбонатных массивах показывает, что достаточно часто в площадном отношении местоположение провалов, вскрытых полостей и участков, характеризующихся локальной изменчивостью химического состава вод (спектр $\text{SO}_4\text{-Ca}$; Ca- SO_4 ; $\text{HCO}_3\text{-Ca}$; $\text{HCO}_3\text{- SO}_4$), как в покровных, включая и карстово-обвальные отложения, так и в карстующейся толщах совпадает. Участки, где данное совпадение имеет место, идентифицируются как потенциально опасные с точки зрения интенсивности развития процессов растворения сульфатной толщи. Объясняется это тем, что смена гидрохимической фации может произойти только в том случае, если периодически (в большинстве случаев сезонно) концентрация сульфат-иона изменяется – увеличивается или уменьшается, что в свою очередь предполагает периодическое недосыщение водных растворов по сульфат-иону и их соответствующую периодически меняющуюся агрессивность по отношению к гипсоангидридам.

Отметим, что все перечисленные базовые показатели состояния геологической среды присутствуют в отчетах по инженерно-геологическим изысканиям, а, следовательно, их использование в целях карстологического прогноза, особенно на начальных этапах, не требует дополнительных затрат. Очень часто общегеологические параметры по какой-то причине рассматриваются, как качественные характеристики, в то время как базовые признаки помимо качественных характеристик обладают и количественными параметрами. Совместное использование качественно-количественных характеристик позволяет не только применять полуколичественные методы оценки (часто воспринимаемые только, как балльный метод), но на последующих этапах, при необходимости детализации ситуации и более сложные, основанные на гибридных прогнозных математических моделях, например, вероятностно-детерминированных.

Библиографический список

1. 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.

2. Кадебская О.И., Пятунин М.С. Использование геоинформационных систем для определения карстоопасности территории г. Кунгура // Сергеевские чтения. Моделирование при решении геоэкологических задач: материалы годич. сес. Науч. совета РАН по проблемам геоэкологии, инженер. геологии и гидроэкологии, Москва, 23-24 марта, 2009. – М., 2009. – Вып. 11. С. 33-36.
3. Катаев В.Н. Системный подход в анализе устойчивости карстовых массивов // Вестник Пермского университета. 1994. Вып. 3. Геология. С.127-144.
4. Катаев В.Н. Методология и практика сравнительно-оценочного карстологического районирования: Учебное пособие по спецкурсу / Перм. ун-т. – Пермь, 2001. 85с.
5. Катаев В.Н. Основы структурного карстоведения: Учеб. пособие по спецкурсу / Перм. ун-т. – Пермь, 2004. - 109 с.
6. Катаев В.Н., Кадебская О.И. Геология и карст города Кунгура: монография. Перм. гос. ун-т; ГИ УрО РАН. – Пермь, 2010. – 249с.: ил.
7. Катаев В.Н., Ковалёва Т.Г. Роль экспертной оценки в карстологическом прогнозе // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 8 (часть 5). – стр. 1130-1135; URL: www.rae.ru/fs/?section=content&op=show_article&article_id=10001306 (дата обращения: 04.10.2013).
8. Klimchouk A.B. Hypogene Speleogenesis: Hydrogeological and Morphogenetic Perspective / A.B. Klimchouk // National Cave and Karst Research Institute Special Paper no. 1. – Carlsbad, NM : National Cave and Karst Research Institute, 2007. – 106 p.
9. Klimchouk A. Conceptualisation of speleogenesis in multi-storey artesian systems: a model of transverse speleogenesis / A. Klimchouk // International Journal of Speleology, 2005. – V. 34, Iss.1. – P. 45-64.
10. Ковалёва Т.Г., Катаев В.Н. Подземный рельеф карстующихся пород как индикатор пространственного распределения форм карста // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 4; URL: <http://www.science-education.ru/118-14415> (дата обращения: 25.08.2014).
11. Костарев В.П., Малахов В.Е. Что изменилось, или несколько предложений к выполнению инженерно-геологических изысканий на закарстованных территориях // Комплексное использование и охрана подземных пространств: Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 100-летию юбилею науч. и туристско-экскурсионной деятельности в Кунгурской Ледяной пещере и 100-летию со дня рождения В.С. Лукина / ГИ УрО РАН; под общ. ред. О. Кадебской, В. Андрейчука. - Пермь, 2014. С. 305-310.
12. Костарев В.П. Это нужно знать, приступая к инженерно-геологическим изысканиям на закарстованных территориях // Экологическая безопасность и строительство в карстовых районах. Материалы международного симпозиума / Перм. гос. ун-т; ответственный редактор В.Н. Катаев. Пермь, 2015. С. 38-41.
13. Лукин В.С. Провальные явления на Урале и в Предуралье // Гидрогеологический сборник. Свердловск, 1964. № 3. С.133-160.
14. Попов И.В. Инженерная геология. М.: Изд-во МГУ, 1959. 510с.
15. Толмачев В.В., Леоненко М.В. Анализ нормативных документов по изысканиям и проектированию сооружений в карстовых районах России // Инженерно-геологические проблемы урбанизированных территорий. Материалы Международного симпозиума. Екатеринбург: Изд-во «АКВА-ПРЕСС», 2001 г. 2 тома. 792 стр. С. 200-206.
16. Толмачев В.В. Анализ исследований в области вероятностных методов прогноза карстоопасности // Гидротехническое строительство. №12. 2003. С. 39-42.
17. Толмачев В.В. Нормативно-методическая база строительства в карстовых районах России: критический анализ, предложения по совершенствованию // Экологическая безопасность и строительство в карстовых районах. Материалы международного симпозиума / Перм. гос. ун-т; ответственный редактор В.Н. Катаев. Пермь, 2015. С. 42-49.

18. *ТСН 302-50-95 РБ*. Инструкция по изысканиям, проектированию, строительству и эксплуатации зданий и сооружений на закарстованных территориях. Уфа: Госстрой Респ. Башкортостан. 1996. 44 с.

19. *ТСН 22-308-98 НН*. Инженерные изыскания, проектирование, строительство и эксплуатация зданий и сооружений на закарстованных территориях Нижегородской области. Нижний Новгород: Администрация. 1999. 72 с.

20. *ТСН 11-301-2004 По*. Инженерно-геологические изыскания для строительства на закарстованных территориях Пермской области. Пермь: Администрация. 2004. 122 с.

21. *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.

22. *Щербаков С.В., Катаев В.Н.* Особенности геоморфологического строения карстовых массивов // Фундаментальные исследования. 2014. № 12-4 С. 774-778.

Н.В. Лаврова, О.И. Кадебская, М.В. Богомаз
Горный институт УрО РАН, Пермь, icescave@mi-perm.ru

ОЦЕНКА УСЛОВИЙ РАЗВИТИЯ КАРСТА В НАДСОЛЕВОЙ ТОЛЩЕ В РАЙОНЕ ПРОЕКТИРУЕМОГО ЮЖНОГО РУДНИКА ВЕРХНЕКАМСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

При определении степени карстоопасности при проектировании Южного рудника Верхнекамского месторождения проведена систематизация материалов мониторинговых наблюдений, выявлены геологические и гидрогеологические условия территории, описаны основные элементы рельефа, проведен анализ условий развития карста в надсолевой толще. Установлена категория устойчивости в соответствии с СП 11-105-97 и ТСН 11-301-2004 Пермской области.

Ключевые слова: Верхнекамское месторождение, надсолевая толща, условия развития карста, карстоопасность.

N.V. Lavrova, O.I. Kadebskaya, M.V. Bogomaz
Mining Institute, Urals branch of RAS, icescave@mi-perm.ru

KARST HAZARD IN THE DESIGN OF THE SOUTHERN MINE OF THE VERKHNEKAMSKOYE DEPOSIT

In determining the degree of karst hazard in the design of the Southern mine of the Verkhnekamskoye deposit, the materials of monitoring observations were systematized, geological and hydrogeological conditions of the territory were identified, the main elements of the relief were described, and conditions for the development of karst in the supersole column were analyzed. Stability category is established in accordance with SP 11-105-97 and TSN 11-301-2004 of Perm region.

Keywords: Verkhnekamskoye deposit, above-salt bed, karst development conditions

При обеспечении безопасности горнодобывающей деятельности в районах распространения пород галогенной формации большое значение имеет оценка

опасности развития карстовых процессов, в т.ч. в надсолевых толщах. Прогноз карстоопасности локальных участков – шахтных полей Верхнекамского месторождения осложняется совокупностью непростых горно-геологических условий разработки, относительно малой мощностью водозащитной толщи и присутствием в ее геологическом разрезе прослоев карбонатных пород.

Верхнекамское месторождение находится в регионе, расположенном на востоке Восточно-Европейской платформы и охватывающем территорию от Приволжской возвышенности на западе до предгорий Урала на востоке. В геоморфологическом отношении регион представляет собой обширную денудационную равнину, образованную мозаикой многочисленных сводовых структур и разделяющих их депрессий. Денудационная равнина расчленена довольно густой сетью мелких речных долин, балок и оврагов. Реки региона принадлежат в основном к бассейну р. Камы.

Район Южного рудника находится в 1 км северо-восточнее пос. Родники на юге центральной части Верхнекамского месторождения. С севера расположены шахтные поля рудников, отрабатывающих запасы Соликамского и Ново-Соликамского участков, с юга – граница калийной залежи месторождения. В геоморфологическом отношении участок изысканий начинается на высокой Камской равнине, далее проходит по поверхностям II, III и IV левобережным надпойменным террасам р. Камы. Река Кама протекает в 4,0 км к западу. Абсолютные отметки поверхности земли изменяются в пределах 133,7 – 213,7 м. Промышленные площадки расположены на водоразделе между логами, выходящими в долину р. Камы. По юго-западной границе участка проходит срединная часть долины ручья Родниковый Лог, отметка тальвега 168 м. С севера располагаются верховья безымянного лога, отметка тальвега 173 м.

В тектоническом отношении Верхнекамское месторождение приурочено к центральной части Соликамской впадины Предуральского краевого прогиба. Протяженность Соликамской впадины в меридиональном направлении составляет около 240 км при ширине до 75 км. На западе граничит с Русской плитой Восточно-Европейской платформы, а на востоке – с Уральской зоной герцинской складчатости. Западная граница прогиба определяется линией Красноуфимского глубинного разлома, восточнее которого резко увеличивается мощность кунгурских отложений. Восточная граница прогиба связана с Западно-Уральским региональным разломом. На севере Соликамская впадина отделена Колвинской седловиной от Верхнепечорской впадины, а на юге – Косьвинско-Чусовской седловиной от Сылвенской впадины.

Шахтное поле приурочено к южной части Поповского поднятия. Оно характеризуется более крутым падением западного крыла, которое погружается в сторону Камского прогиба, и более пологим восточного – в Тверитинскую мульду. Разбурено глубокими скважинами по неравномерной сети (примерно 2 x 2 км) с некоторым сгущением его на севере и юге. Структурные скважины дополняют разведочную сеть до 1 x 1 км. Средняя плотность скважин, вскрывших соляное зеркало, довольно высокая и составляет 0,81 км²/скв., вскрывших калийную залежь меньше – 1,7 км²/скв.

Галогенная формация Соликамской впадины представлена нижнепермскими отложениями кунгурского (карнауховская свита филипповского горизонта и

березниковская свита иренского горизонта) и уфимского (нижнесоликамская подсвита) ярусов. Галогенные отложения подстилаются породами артинского яруса, перекрываются породами верхнесоликамской подсвиты и шешминской свиты уфимского яруса, венчают разрез кайнозойские отложения.

Покровная каменная соль – ПКС распространена на преобладающей площади Верхнекамского месторождения, но отсутствует на сводах некоторых поднятий, в том числе в центральной части шахтного поля СКРУ-2 в пределах Поповского купола. Каменная соль серая и светло-серая, местами светло-желтая и бледно-розовая; в нижней части отмечается вкрапленность карналлита и сильвина. Порода имеет ярко выраженную слоистую текстуру, обусловленную чередованием прослоев различных структурных разновидностей галита и глинисто-ангидритового материала. Местами в средней части пачки присутствуют прослои мергелей. Мощность толщи на шахтном поле СКРУ-2 изменяется от 1,2 до 52,9 м, составляя в среднем 20,7 м.

Наименьшая мощность ПКС наблюдается у края ее распространения и увеличивается в стороны от апикальных частей Поповского купола до ее средних величин.

Уфимский ярус. Соликамский горизонт. Соликамский горизонт выделен в объеме соликамской свиты, разделенной на две подсвиты.

Нижнесоликамская подсвита, венчающая разрез галогенной формации, представлена соляно-мергельной толщей (СМТ). Толща сложена мергелями, глинами, каменной солью и, в меньшей степени, известняками, гипсами и ангидритами. На долю глинисто-карбонатных пород приходится около 80% разреза. В глинисто-карбонатных породах СМТ часто встречаются пирит, углефицированные растительные остатки, фауна пелеципод.

Нижняя часть СМТ, содержащая пласты каменной соли, носит название переходной пачки (ПП). Поверхность, проходящая по кровле первого сверху слоя каменной соли, называется соляным зеркалом и не является стратиграфической границей. В апикальной части Поповского купола на соляное зеркало выходят породы карналлитовой пачки (до пласта Д-Е), сменяющиеся к краевым частям породами ПКС и ПП. На своде Поповского купола развита гипсово-глинистая шляпа. Характерной особенностью гипсово-глинистых шляп является наличие в них пленок, включений, линзочек и прослоек красного, красновато-оранжевого и оранжево-желтого вещества, представляющего остаток после растворения калийно-магниевых солей, зачастую порода обладает характерным металлическим блеском, иногда с шелковистым отливом.

Общая мощность СМТ на шахтном поле изменяется от 70,3 до 140,8 м, составляя в среднем около 95 м.

Верхнесоликамская подсвита представлена терригенно-карбонатной толщей (ТКТ). В составе толщи присутствуют известняки, доломиты, тонкослоистые мергели, аргиллиты, алевролиты, мелкозернистые песчаники и известняки. Все породы ТКТ в той или иной степени трещиноваты. Мощность толщи на шахтном поле изменяется от 6,3 до 134,3 м, составляя в среднем 78,6 м.

Шешминский горизонт. Выше залегает шешминская свита, представленная пестроцветной толщей (ПЦТ). Толща сложена песчаниками и алевролитами бурыми, зеленовато-серыми и серыми, иногда с маломощными пропластками

мергелей и известняков. В пределах шахтного поля СКРУ-2 ПЦТ отмечена на небольших площадях на северо-западе и северо-востоке, мощность вскрытых отложений составляет от 5,3 до 58,9 м, средняя – 23,5 м. В пределах участка пестроцветная толща отсутствует.

Четвертичная система (Q). Отложения представлены глинами, суглинками, супесями, песками, галечниками, а также и торфяноболотными отложениями. По генезису отложения относятся к элювиально-делювиальным, эоловым, флювиогляциальным, озерно-болотным, аллювиальным и техногенным. Средняя мощность составляет около 12 м (Кудряшов, 2001).

Значения мощности и абсолютные отметки стратиграфических подразделений районе расположения Южного рудника приведены в табл. 1 и 2.

Таблица 1. Видимые мощности стратиграфических подразделений на шахтном поле рудника СКРУ-2, м

Значение	Q	ПЦТ	ТКТ	СМТ
Минимум	0,4	5,3	6,3	70,3
Максимум	51,3	59,0	134,3	140,8
Среднее	12,1	23,5	78,6	95,0

Таблица 2. Абсолютные отметки кровли стратиграфических горизонтов на шахтном поле рудника СКРУ-2 и в районе расположения Южного рудника, м

Значение	ПЦТ	ТКТ	СМТ	ПП
Минимум	85,50	51,50	-53,50	-111,1
Максимум	224,81	233,04	193,15	93,05
Перепад	139,31	181,54	246,65	204,15

На исследованной территории по данным бурения инженерно-геологических скважин глубиной от 8,0 до 34,0 м в интервале от 1,8 м до 27,2 м вскрыт известняк, вскрытая мощность от 0,4 м до 3,4 м. По физико-механическим свойствам определенный как прочный неразмягчаемый, без кавернозности. Согласно плану поверхности данных отложений отмечается уклон в западном направлении, с абсолютных отметок 210 м на востоке до 190 м на западе. Прослой максимальной мощности 11,8 м и 12,7 м вскрыты на глубинах 22,0-33,8 (абс. отм. 188,37-176,57 м) и 57,9-70,6 м (абс. отм. 152,47-139,77 м) без фиксации провалов бурового инструмента и поглощения промывочной жидкости. В остальных скважинах фиксируются прослой мощностью от 0,5 м до 7 м. В отдельных скважинах известняк отсутствует.

Согласно районированию К.А. Горбуновой (1992) территория исследования расположена в пределах Соликамского района преимущественно соляного карста. Карстующиеся соляные породы залегают под некарстующимися коренными породами терригенно-карбонатной и соляно-мергельной толщ и четвертичных отложений. Современный и древний соляной карст проявляется на поверхности при образовании мульд проседания, расширенных участков долин с большой мощностью аллювиальных, аллювиально-озерных и флювиогляционных отложений, озерных котловин. Поверхностные карстовые формы – воронки, просадки на обследованной территории не обнаружены, провалы по данным многолетних наблюдений не зафиксированы.

Район характеризуется развитой речной сетью, которая включает водосборные площади левых притоков Камы. Питание рек в основном осуществляется за счет атмосферных осадков. Вторым по значению источником питания их служат подземные воды. Доля последних в годовом объеме стока составляет 25-30%. Сток рек распределен в течение года неравномерно. Наибольшая его часть (55-60%) приходится на апрель-июнь.

По гидрогеологическому районированию территория ВКМС принадлежит к Предуральскому сложному бассейну пластовых (блоково-пластовых) вод, к Камско-Чусовской группе бассейнов пластовых вод. Соляная толща месторождения, являясь водупором, разделяет подземные воды на два гидрогеологических этажа – нижний (подсолевой) и верхний (надсолевой).

Основными областями питания Предуральского бассейна являются Уфимское плато, Тиманская гряда и частично передовые складки Урала, а зонами разгрузки – р. Кама и ее крупные притоки. Основным источником питания подземных вод являются атмосферные осадки.

Формирование региональной гидродинамики верхнего этажа связано с положением гидрогеологических подразделений относительно базисов дренирования (речные долины).

Подразделение надсолевого комплекса пород на водоносные комплексы (горизонты) носит условный характер. По принадлежности к водовмещающим стратиграфическим элементам в пределах Верхнекамского месторождения в надсолевом водоносном комплексе выделяется четыре водоносных горизонта: шешминский; верхнесоликамский; нижнесоликамский.

В соляной толще отмечается небольшое количество рассолов, относимых к внутрисолевым водам. Промышленные пласты калийной залежи расположены внутри соляной толщи, что обуславливает в естественных природных условиях их абсолютную гидрогеологическую изолированность.

Подземные воды встречены на глубинах от 23 м к северо-западу до 97,9 м к юго-востоку. Питание подземных вод происходит за счет инфильтрации атмосферных осадков, разгрузка осуществляется в сторону Камского водохранилища. Уровни подземных вод по данным разведочных, структурных и контрольно-стволовых скважин в районе Южного рудника фиксируются на отметках 111,1 – 151,7 м.

В районе исследований подземные воды верхнего (надсолевого) гидрогеологического этажа связаны с верхне- и нижнесоликамскими водоносными горизонтами.

Верхнесоликамский водоносный горизонт приурочен к отложениям ТКТ, имеет повсеместное распространение и является основным горизонтом, используемым для хозяйственно-питьевого водоснабжения. Водовмещающими являются трещиноватые известняки, а также трещиноватые песчаники и алевролиты в верхней части разреза. Воды горизонта в верхней и средней частях ТКТ отличаются непостоянством фильтрационных свойств из-за разнообразия литологического состава и разной степени трещиноватости пород. Минерализация этих вод составляет 0,2-0,5 г/дм³. Преобладают гидрокарбонатно-кальциево-магниево-сульфатные воды.

В пределах расположения Южного рудника по данным инженерно-геологических скважин зафиксирована верховодка на глубине от 1,0-12,0 м. Что является свидетельством слабой проницаемости перекрывающих глинистых отложений.

Уровень грунтовых вод, зафиксированный разведочными скважинами, на отметках 111,37-114,68 м соответствует уровню воды в р. Каме. Градиент вертикальной фильтрации вод в грунте составляет менее 1.

Согласно данным бурения разведочных и структурных скважин глубиной до 451 м на прилегающей территории прослой известняков вскрываются на различных глубинах или отсутствуют в разрезе. Прослой максимальной мощности 11,8 м и 12,7 м вскрыты на глубинах 22,0-33,8 (абс. отм. 188,37-176,57 м) и 57,9-70,6 м (абс. отм. 152,47-139,77 м) без фиксации провалов бурового инструмента и поглощения промывочной жидкости. В остальных скважинах фиксируются прослой мощностью от 0,5 м до 7 м. В скважинах прослой известняков мощностью 1-4 м обычно переслаиваются с глиной и мергелем мощностью от 5 до 7 м, что замедляет их карстование.

Образование провалов в районе Южного рудника исключается вследствие отсутствия обязательных условий развития карста в нерастворимых породах покровной толщи. В соответствии с действующим СП 11-105-97 и ТСН 11-301-2004 Пермской области исследуемый участок относится к территориям с категорией устойчивости VI, не опасным в карстово-суффозионном отношении.

"Исследование выполнено в рамках Программы ФНИ, проект № 0422-2019-0144-С-02 (регистрационный номер темы НИОКТР: АААА-А18-118040690031-5) "Геохимическая и минералогическая эволюция осадконакопления в Соликамском палеобассейне".

Библиографический список

1. Горбунова К.А., Андрейчук В.Н., Костарев В.П., Максимович Н.Г. Карст и пещеры Пермской области. Пермь, 1992. 200 с.
2. Кудряшов А.И. Верхнекамское месторождение солей. Пермь, 2001. 429 с.

И.М. Тюрина, Е.А. Иконников, И.Ю. Дунь
ПГНИУ, tyurinaim@mail.ru

ВЛИЯНИЕ РАЗРАБОТКИ ВЕРХНЕКАМСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ СОЛЕЙ НА ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПРИПОВЕРХНОСТНОЙ ГИДРОСФЕРЫ

В работе рассмотрены причины изменения химического состава приповерхностной гидросферы на территории Верхнекамского месторождения солей. Рекомендованы мероприятия, направленные на уменьшение и ликвидацию загрязнения подземных вод месторождения.

Ключевые слова: химический состав, подземные воды, загрязнения, шламохранилища, солеотвалы.

INFLUENCE OF THE EXPLOITATION OF THE VERCHNECAMSK DEPOSIT OF THE SALT AT THE CHEMICAL COMPOSITION OF THE NEAR-SURFACE HYDROSPHERE

In the work the causes of the change of the chemical composition of the near-surface hydro-sphere of the Verchnecamsk deposit are considired. Rekomended measures, which direct attention at diminution and liquidation of the pollution of the underground water.

Key words: chemical composition, underground water, pollution, sludge storage, salt dumps.

Верхнекамское месторождение солей находится на левобережье р. Кама в пределах Чердынского, Красновишерского, Усольского и Добрянского районов, а также на территориях, относящихся к городам Березники и Соликамск.

Соленосный комплекс месторождения приурочен к кунгурскому и уфимскому ярусам пермской системы. Кунгурский ярус включает филипповский и иренский горизонты. Филипповский горизонт представлен карбонатно-сульфатными породами карнауховской свиты мощностью 50 – 160 м. Иренский горизонт в пределах Соликамской впадины включает иренскую, березниковскую, поповскую и кошелевскую свиты, которые представлены комплексом сульфатно-карбонатных и соляных пород общей мощностью 400 – 1490 м.

Уфимский ярус представлен соликамским и шешминским горизонтами, которые соответствуют одноименным свитам. Соликамская свита включает соляно-мергельную и терригенно-карбонатную толщи общей мощностью 90 – 170 м. Шешминская свита представлена, в основном, песчаниками и алевролитами с прослоями гипса, известняка. Мощность этих отложений достигает 675 м. (Кудряшов, 2001).

По гидрогеологическому районированию месторождение находится в пределах Предуральского сложного бассейна пластовых вод. (Иконников и др., 2006). Соляная толща месторождения, являясь водоупорной, разделяет подземные воды на два гидрогеодинамических этажа – нижний (подсолевой) и верхний (надсолевой).

Подсолевой этаж Соликамской впадины включает водоносные комплексы, представленные рассолами хлоридно-натриевого, хлоридно-кальциевого состава. Минерализация подсолевых вод – 200-290 г/дм³.

В надсолевой толще месторождения выделены следующие гидрогеологические подразделения: водоносная соликамская терригенно-карбонатная свита; слабоводоносный локально-водоносный шешминский терригенный комплекс; локально-водоносный палеоген-неогеновый комплекс; водоносный локально-слабоводоносный четвертичный аллювиальный горизонт.

Основными гидрогеологическими подразделениями, в которых сосредоточены практически все ресурсы подземных вод надсолевого комплекса пород, являются слабоводоносный локально-водоносный шешминский терригенный комплекс, водоносная соликамская терригенно-карбонатная свита. Подземные воды свиты, находящиеся выше уровня долины реки Камы, являются, в основном, гидрокар-

бонатно-кальциевыми с минерализацией 0,5 – 0,6 г/дм³. Ниже распространены, преимущественно, сульфатные воды с минерализацией 1,6 - 14 г/дм³.

Слабоводоносный локально-водоносный шешминский терригенный комплекс распространен, преимущественно, в южной части месторождения. Основными водовмещающими породами являются песчаники. Воды, в основном, пресные, гидрокарбонатно-кальциевые.

Водоносный локально-слабоводоносный четвертичный аллювиальный горизонт распространен в долинах рек. Воды пресные с минерализацией 0,2 – 0,5 г/дм³, гидрокарбонатно-кальциевые. На территории широкого развития болот подземные воды аллювия имеют пестрый химический состав, обогащенный натрием, хлором, сульфатами, нитратами.

Разработка Верхнекамского месторождения солей сопровождается сооружением шламохранилищ, солеотвалов, прудов-накопителей, рассолосборников, содержащих соляные отходы. До 70% всей добытой руды складывается на поверхности в солеотвалах, шламохранилищах, либо используется в качестве закладочного материала в выработанных пространствах (Максимович и др., 2012). На территории месторождения накоплено более 270 млн. т. глинисто-солевых шламов, представленных, в основном, хлоридами калия и магния.

Шламохранилища, солеотвалы имеют значительные размеры по площади и объему отходов. Общая площадь только 6 шламохранилищ и 4 солеотвалов составляет около 600 га. С этой огромной территории хлориды солей с атмосферными осадками поступают в поверхностные и подземные воды, изменяя их химический состав на значительной площади. Так, химический состав пробы снега, собранной в пос. Калиец, хлоридно-натриевый, минерализация – 0,3 г/дм³ (Максимович и др., 1967).

Приоритетными загрязнителями в выбросах веществ в атмосферу являются хлориды кальция, натрия, магния, взвешенные вещества. Именно эти вещества формируют площадные техногенные гидрохимические аномалии на значительном расстоянии от площади месторождения. Так, в районе пос. Полазна, расположенном в 150 км от г. Березники, содержание в дожде хлоридов натрия, калия в 2 – 3 раза выше их среднего содержания в атмосферных осадках Пермского края. Вероятная причина высокого содержания этих компонентов на значительном удалении от месторождения солей – преобладание в этом регионе ветров северо-западного направления.

В г. Березники вклад предприятий ПО «Уралкалий» в общий уровень загрязнения атмосферного воздуха составляет 24%, в г. Соликамске от предприятий ПО «Сильвинит» - 47%. В 1991 г. в разных районах г. Березники были отобраны пробы дождя. Минерализация дождевых вод составила в среднем 208,4 мг/дм³, что почти в 10 раз превышает фоновые значения минерализации по Пермскому краю.

В химическом составе дождевых вод на втором, третьем месте присутствуют сульфат-ион, хлор-ион. Минерализация снежных осадков, отобранных в г. Березники, составляет в среднем 134 мг/дм³, что более чем в 20 раз превышает фоновые значения минерализации для Пермского края (Двинских и др., 1992).

Разработка месторождения солей отразилась и на химическом составе грунтовых вод четвертичных отложений. Так, в режимных скважинах на террито-

рии месторождения в подземной воде четвертичного аллювиального горизонта установлено аномально высокое содержание ионов хлора, магния. Повышенное содержание этих ионов отмечено и в родниках в бассейнах рек Чёрная, Медведица, Лёнва.

Основное влияние разработки месторождения на окружающую среду связано с формированием фильтрационных стоков с солеотвалов и шламохранилищ, имеющих хлоридно-натриевый состав и минерализацию более 30 г/дм³. Технологические стоки поступают в подземные и поверхностные воды, изменяя химический состав приповерхностной гидросферы.

Для снижения отрицательного воздействия разработки месторождения на окружающую среду необходимо увеличить объем природоохранных мероприятий, в частности уменьшить количество отходов, размещаемых на земной поверхности. Одним из таких мероприятий является закладка выработанного пространства солеотходами, глинисто-солевыми шламами, в том числе и складированными ранее на земной поверхности.

Библиографический список

1. Двинских С.А., Бельтюков Г.В., Возможности использования системного подхода в изучении географических пространственно-временных образований. Изд. Иркутского университета, 1992. 248 с.
2. Иконников Е.А., Яковлев Ю.А., Шестов И.Н. Гидрогеология. // Минерально-сырьевые ресурсы Пермского края. Пермь, 2006. с. 111-123.
3. Кудряшов А.И. Верхнекамское месторождение солей. Пермь: ГИ УрО РАН, 2001. 429 с.
4. Максимович Г.А., Тюрина И.М. Химический состав атмосферных осадков. // Химическая география вод и гидрогеохимия Пермской области. Пермь, 1967. с. 41-48.
5. Максимович Н.Г., Хайруллина Е.А. Основы мониторинга окружающей среды при разработке месторождения калийных солей. // Инженерные изыскания. 2012. №8. с. 20-30.

Е.В. Дробинина

ООО «Противокарстовая и береговая защита», г. Пермь
ПГНИУ, alenadrobinina@yandex.ru

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ОСЛАБЛЕНИЯ КАРСТОВГО МАССИВА НА СВОЙСТВА ГРУНТОВ ПЕРЕКРЫВАЮЩЕЙ ТОЛЩИ

В статье рассмотрены существующие косвенные методы изучения характера подземной закарстованности с применением различного рода индикаторов, одним из которых являются физико-механические свойства перекрывающих отложений. На конкретном примере оценено влияние элементов ослабления на грунты перекрывающей толщи, проявляющееся в изменение их физико-механических свойств. С помощью картографического моделирования, заключающегося в интерполяции значений физико-механических свойств грунтов покровной толщи, показано, что на участках развития элементов ослабления, где наблюдается разгрузка напряжений, отмечается разуплотнение и разупрочнение глинистых грунтов.

Ключевые слова: зона дробления, карстовая полость, покровная толща, физико-механические свойства

THE ASSESSMENT OF KARST CAVITIES AND CRUSHED ZONES INFLUENCE ON OVERLYING SOIL PROPERTIES

The indirect methods of underground karst character assessment are considered in the research. These methods require the use of various indicators one of which is geotechnical properties of overlying soil. Karst cavities and crushed zones influence on overlying soil is estimated in specific case. Clay soil loosening and its strength reduction above karst cavities and crushed zones because of stress relief is demonstrated by mapping such as interpolation method of geotechnical properties of overlying soil.

Key words: crushed zone, karst cavity, overlying soil, geotechnical properties

Дискретный характер данных о подземной закарстованности и трещиноватости карстующихся пород, получаемых посредством прямых методов, например, бурения, осложняет оценку карстовой опасности и ее прогноз, что определяет необходимость использования косвенных методов исследования карстующейся толщи с применением различного рода индикаторов с целью выяснения характера подземной закарстованности.

Например, учеными Горного института Уральского отделения РАН (г. Пермь, Россия) проведены гравиметрические исследования территории Верхнекамского месторождения с целью определения мест локализации зон дробления в карстующихся породах по плотностным изменениям карстующихся и перекрывающих их пород, связанным с их разуплотнением за счет трещин. Наличие зон трещиноватости в дальнейшем подтверждалось результатами прямого наблюдения – бурением и гидрогеологическими исследованиями (Kataev, Ermolovich, 2014).

Геофизические методы достаточно часто используются для дистанционного исследования подземной закарстованности. Например, для поиска карстовых полостей и пещер на территории Апулии (юго-восток Италии) рядом исследователей были применены георадар (GPR) в качестве наиболее представительного метода, сейсмическое отражение (SR) и электрическая томография (ERT, Margiotta et al., 2016). Дж. Кауфманом (G. Kaufmann, 2014) с использованием гравиметрических данных была получена трехмерная модель карстового массива, отражающая характер подземной закарстованности в окрестностях гор Гарц на севере Германии. С помощью геофизических методов определены форма и характер простираения подземных карстопроявлений под толщей неогеновых и четвертичных отложений на территории распространения карстовых полей в Югославии (Milanović, 2018). Ю.В. Патрушевым (2017) предложен метод поиска дискретных структур, под которыми понимаются элементы ослабления карстового массива, посредством регистрации сейсмических сигналов отраженных волн и последующего установления возможного положения зон развития подземной закарстованности.

Исследованию свойств несвязных перекрывающих отложений в качестве индикаторов подготовки процесса провалообразования посвящена работа В.С. Крашенникова и В.П. Хоменко (2017). Авторами в модельных условиях детально исследовался гранулометрический состав грунтов в разных точках перекрывающей толщи над карстовой полостью или трещиной в водоупоре, в результате чего ими выделено три зоны, гранулометрический состав которых различен: в зоне непосредственно над полостью заполнитель практически отсутствует и грунт отличается высокой степенью однородности.

Автором данной работы в качестве индикаторов наличия элементов ослабления в карстовом массиве предлагается использовать физико-механические свойства грунтов, полученные посредством лабораторного опробования дисперсной перекрывающей толщи. Прогностическая цель исследования предполагает изучение параметров, прямо или косвенно определяющих способность перекрывающей толщи противостоять обрушению грунтов в карстовую полость, то есть характеризующих состояние и прочностные свойства грунтов перекрывающей толщи. При исследовании перекрывающей толщи автор обращает внимание на такие параметры, как плотность грунта ρ , коэффициент пористости e , угол внутреннего трения ϕ , удельное сцепление c .

В соответствии с концептуальной моделью изучаемого процесса физико-механические характеристики грунтов над элементами ослабления будут отличаться от свойств над целиковыми зонами массива по причине того, что элементы ослабления являются очагами разгрузки напряжений в карстовом массиве. Под целиковыми зонами подразумеваются участки карстового массива, в пределах которых растворимые породы характеризуются ненарушенностью и отсутствием следов растворения.

Ранее автором с помощью компьютерного моделирования прослежено влияние, оказываемое незаполненной карстовой полостью различного размера на перекрывающие грунты (Дробинина, Катаев, 2019). В данной статье влияние элементов ослабления карстового массива на физико-механические свойства грунтов покровной толщи оценено по данным опробования юрских глин, перекрывающих карбонатные отложения на участке прохождения высокоскоростной магистрали протяженностью около 1 км. В административном плане территория расположена в Ногинском районе Московской области, в 0,8 км северо-западнее д. Аксено-Бутырки.

Карстующиеся породы представлены каменноугольными доломитами и известняками, закарстованными преимущественно в верхней части толщи. Покровная толща сложена глинистым водоупором юрского возраста мощностью от 4,0 до 6,5 м, перекрытым четвертичными песчано-глинистыми грунтами аллювиального и флювиогляциального генезиса.

Характер изменения значений исследуемых свойств в пределах толщи юрского водоупора оценивался посредством картографического моделирования в программе ArcGIS методом интерполяции значений свойств грунтов. Интерполяция проводилась в разрезе и в плане на двух высотных уровнях: в

средней части слоя (глубина опробования 10-13 м) и в подошве (глубина опробования 13-15 м).

Диапазон фоновых значений каждого исследуемого свойства определен по гистограмме распределения значений в ячейках интерполированной сетки (grid) над зонами карстового массива, где в кровле элементы ослабления не развиты (целиковые зоны). Так, к фоновым отнесены значения свойств, равные $X_{cp} \pm \sigma$ (X_{cp} – среднее значение свойства, σ – среднеквадратичное (стандартное) отклонение).

Если судить в целом о диапазоне изменений свойств над целиковыми зонами в карстовом массиве и над элементами ослабления, над последними наблюдается уменьшение значений прочности (удельного сцепления) юрских глин и плотности по верхней границе диапазона изменения свойств. Ниже приводится подробная характеристика характера изменений значений физико-механических свойств юрских глин в исследуемом карстовом массиве. В качестве примера приведена карта изменения значений плотности юрских глин в разрезе (рис. 1).

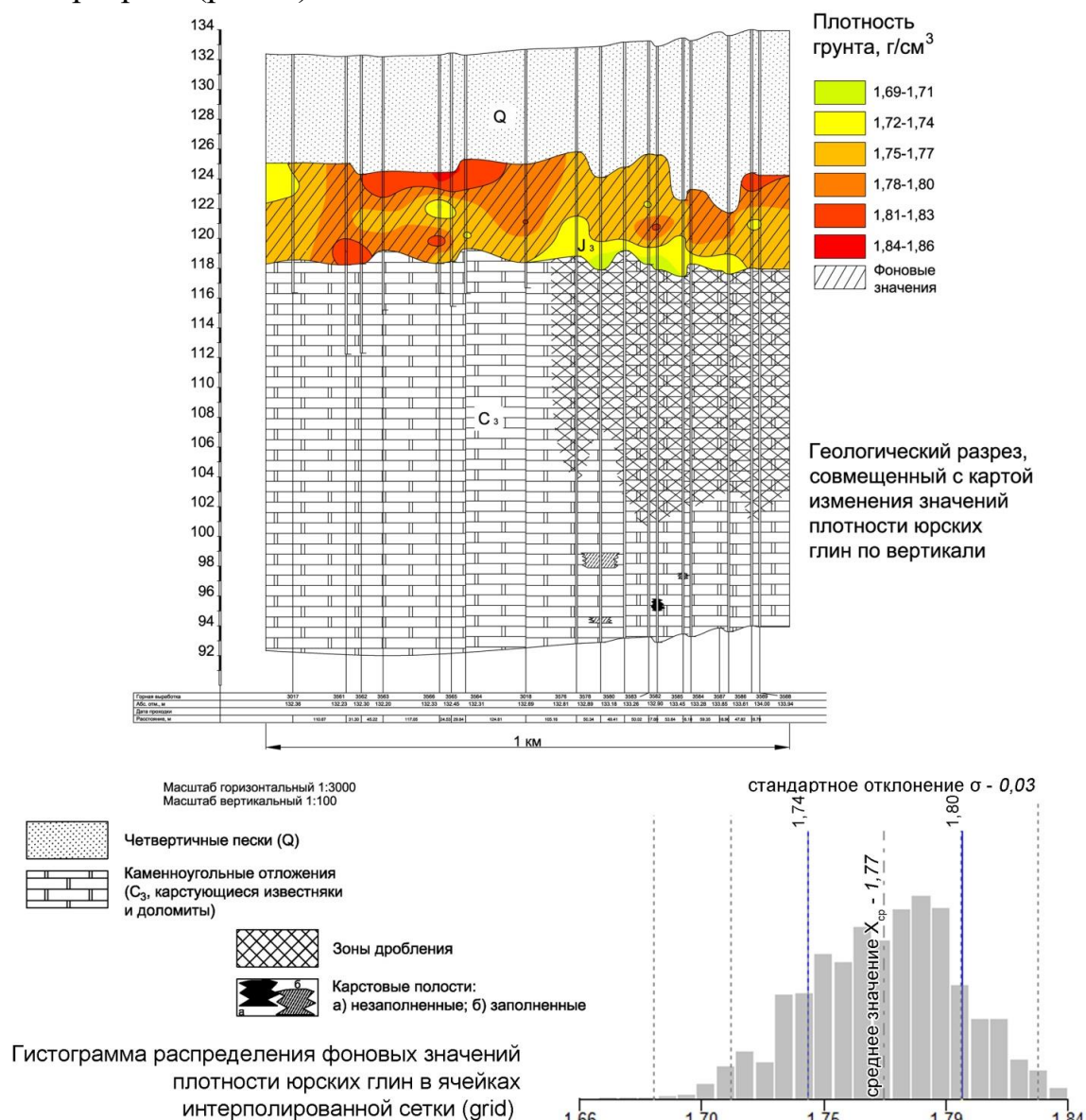


Рис. 1. Карта изменения значений плотности юрских глин в разрезе

Плотность юрских глин. По гистограмме распределения значений изучаемого свойства над целиковыми зонами карстующихся пород к фоновым следует отнести значения плотности $1,77 \pm 0,03$ г/см³ ($X_{cp} \pm \sigma$). На карте изменения значений плотности юрских глин зоны разуплотнения (снижения плотности) хорошо прослеживаются над элементами ослабления, причем в подошве слоя отмечается зона аномально низких (в отличие от фоновых) значений плотности, менее 1,74 г/см³. Часть разреза, где элементы ослабления в кровле карстующейся толщи отсутствуют, характеризуется значениями плотности юрских глин преимущественно равными и/или превышающими фоновые (1,74–1,86 г/см³). Примечательно, что фоновые значения на участке развития элементов ослабления изменяются в диапазоне близком к нижней границе (1,75–1,77 г/см³), над целиковыми зонами увеличивается площадь, занимаемая фоновыми значениями, близкими к верхней границе (1,78–1,80 г/см³).

Пористость юрских глин. Согласно гистограмме распределения, фоновые значения коэффициента пористости юрских глин составляют $1,294 \pm 0,123$ д.е. Значения выше фоновых (1,418–1,663 д.е.) локально отмечаются над целиковыми зонами карбонатных пород. Над мощной и относительно протяженной зоной дробления, развитой в северо-восточной части исследуемого участка трассы, значения коэффициента пористости ниже и/или равны фоновым (0,990–1,417 д.е.).

Подобный характер изменения данного свойства и отсутствие четкой закономерности в изменении его значений над элементами ослабления может быть объяснен следующим. В диссертационном исследовании рассматриваются элементы ослабления, размер которых меньше критического, то есть такие, наличие которых в кровле на данный момент не привело к нарушению сплошности перекрывающего водоупора, то есть деформации связанные с разгрузкой напряжений можно считать упругими. У пластичных глинистых пород упругие деформации не оказывают значительного влияния на истинное значение пористости, которое, может несколько отличаться от расчетного, так как последнее включает в себя межслоевое пространство разбухающих разностей глинистых минералов (Осипов, Соколов, 2013).

Угол внутреннего трения. Фоновые значения данного параметра составляют $14,2 \pm 0,6^\circ$. Значения над элементами ослабления преимущественно ниже фоновых ($10,1$ – $13,6^\circ$), за исключением восточной части исследуемого участка трассы, где значения данного параметра выше и/или равны фоновым ($13,7$ – $16,0^\circ$). При отсутствии элементов ослабления в кровле карстующихся пород значения угла внутреннего трения составляют ($13,7$ – $16,8^\circ$).

Удельное сцепление. Фоновые значения данного свойства на исследуемой территории составляют $58,9 \pm 4,3$ кПа. Значения над элементами ослабления на всю мощность юрских глин преимущественно ниже фоновых ($45,0$ – $54,6$ кПа). Значения удельного сцепления юрских глин над целиковой зоной находятся в диапазоне фоновых и/или выше них ($54,6$ – $73,1$ кПа).

Если анализировать площадной характер изменчивости свойств юрских глин в подошве слоя, то нужно отметить увеличение значений их плотности и прочности на участках отсутствия элементов ослабления, здесь значения свойств в основном находятся в диапазоне фоновых значений или превышают их: плот-

ность глин – от 1,75 г/см³, угол внутреннего трения – от 13,7°, удельное сцепление – от 54,7 кПа (рис. 2). Над элементами ослабления значения плотности глин преимущественно ниже фоновых – до 1,74 г/см³, редко над элементами ослабления наблюдаются фоновые значения, ближе к нижней границе – небольшой участок на востоке изучаемой территории характеризуется плотностью глин 1,75–1,77 г/см³. Изменения значений угла внутреннего трения и удельного сцепления обладают принципиально похожим характером: над элементами ослабления наблюдаются значения преимущественно ниже фоновых (угол внутреннего трения до 13,6°, удельное сцепление до 54,6 кПа), за исключением небольшого участка на востоке изучаемой территории, где угол внутреннего трения колеблется в пределах фоновых значений 13,7–14,8°.

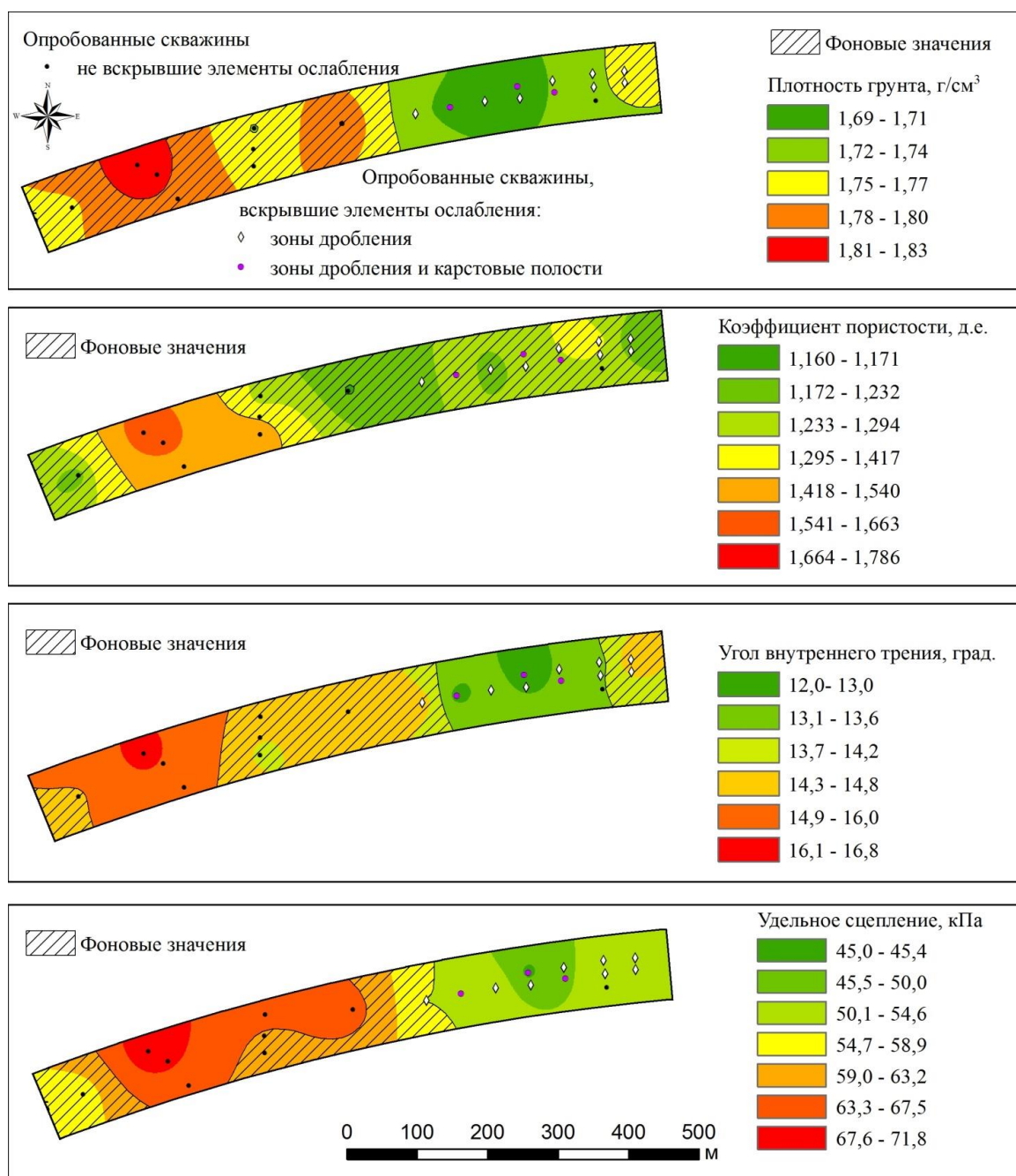


Рис. 2. Карта изменения значений свойств юрских глин в подошве слоя (глубина опробования 13-15 м)

Изменения значений исследуемых свойств в средней части слоя юрских глин обладают принципиально похожим характером: значения плотности и прочностных свойств глин увеличиваются на участках отсутствия элементов ослабления. Однако следует заметить, что площадь распространения фоновых значений исследуемых показателей здесь выше относительно подошвы слоя: для плотности юрских глин в 2,5 раза, для прочностных свойств в 1,5 раза. Это может свидетельствовать о том, что наибольшее влияние элементы ослабления оказывают на свойства перекрывающих грунтов именно в подошве.

Построенные методом интерполяции картографические модели изменения изучаемых свойств юрских глин доказывают рабочую гипотезу о том, что на участках развития элементов ослабления, где наблюдается разгрузка напряжений, отмечается разуплотнение и разупрочнение глинистых грунтов. Причем наиболее ярко это влияние отражается на прочностных свойствах глин, характер изменения которых над элементами ослабления прослеживается в конкретном случае на всю мощность исследуемой толщи (до 6,5 м). Изменения физических свойств в частности плотности глин, относительно фоновых, в данном случае наблюдаются в непосредственной близости к элементам ослабления. По мере увеличения расстояния от элемента ослабления по вертикали значения плотности грунтов приближаются к фоновым. Коэффициент пористости, в данном случае, является непоказательной характеристикой. Вероятная причина отсутствия закономерностей в его изменении над элементами ослабления указана ранее.

Необходимо заметить, что в конкретном примере оценено влияние на свойства перекрывающих грунтов элементов ослабления карстового массива, представленных зонам дробления карстующихся пород. Объем пустотного пространства в них меньше по сравнению с карстовыми полостями, следовательно, влияние последних на грунты перекрывающей толщи должно прослеживаться яснее.

Библиографический список

1. Дробинина Е.В., Катаев В.Н. Покровная толща карстовых массивов: изучение в целях карстологического прогноза // Природа. № 11. 2019. С. 62–72.
2. Крашенинников В.С., Хоменко В.П. Изменение гранулометрического состава несвязных грунтов, предшествующее карстово-суффозионному провалообразованию // Инженерная геология. 2017. № 2. С. 52-62.
3. Осипов В.И., Соколов В.Н. Глины и их свойства. Состав, строение и формирование свойств. М.: ГЕОС, 2013. 576 с.
4. Патрушев Ю.В. Дистанционная оценка и прогноз развития опасных инженерно-геологических процессов при строительстве тоннелей. Автореф. дис. канд. техн. наук. Екатеринбург, 2017. 24 с.
5. Kataev V., Ermolovich I. Karst sinks of the Perm region (the Western Ural) // 14th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2014. Hydrogeology, Engineering Geology and Geotechnics / Published by STEF92 Technology Ltd., «Andrey Lyapchev» Blvd., 1797 Sofia, Bulgaria. 2014. P. 559-565.
6. Kaufmann G. Geophysical mapping of solution and collapse sinkholes. J Applied Geophysics, vol. 111, 2014. P. 271-278.
7. Margiotta S., Negri S., Parise M., Quarta T.A.M. Karst geosites at risk of collapse: the sinkholes at Nociglia (Apulia, SE Italy). Environmental Earth Sciences, vol. 75 (1), 2016. P. 1-10. DOI: 10.1007/s12665-015-4848-y.
8. Milanović P. Karst Hydrogeology. Belgrade, 2018. 390 p.

ПАЛЕОГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ВЕРХНЕКАМСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ СОЛЕЙ

В публикации рассмотрены палеогидрогеологические условия формирования калийно-магниевых солей Верхнекамского месторождения.

Ключевые слова: гидрогеологический цикл, элизионные, инфильтрационные этапы, соленосная толща.

I.M. Turina, E.A. Erofeev, N.V. Patrushev
Perm State University, erofeev-ea@yandex.ru

PALEOHYDROGEOLOGICAL CONDITIONS OF FORMATION OF THE VERCHNECAMS SALT FIELDS

In the work the paleohydrogeological conditions of formation of the series of the Verchne-cams salt fields are considered.

Key words: hydrogeological cycle, elysium, infiltration waters, salt series.

Изучение палеогидрогеологических условий осадкообразования необходимо при рассмотрении формирования месторождений различных полезных ископаемых, в том числе и залежей калийно-магниевых солей (Карцев и др., 1969, Кирюхин, 2005, Смирнов, 1995).

Одним из крупнейших месторождений солей, имеющих мировое значение, является Верхнекамское, открытое П.И. Преображенским в 1925 году. Месторождение находится на левобережье р. Камы в пределах Чердынского, Красновишерского, Соликамского, Усольского и Добрянского районов Пермского края (Кудряшов, 2001).

В тектоническом отношении Верхнекамское месторождение приурочено к центральной части Соликамской впадины Предуральского краевого прогиба. Протяженность Соликамской впадины в меридиональном направлении составляет 240 км при ширине до 75 км. На западе эта структура граничит с Русской плитой Восточно-Европейской платформы, а на востоке – с Уральской зоной герцинской складчатости. Западная граница прогиба определяется линией Красноуфимского глубинного разлома, восточная – Западно-Уральским региональным разломом. На севере Соликамская впадина отделена Колвинской седловиной от Верхнепечерской впадины, а на юге – Косьвинской седловиной от Сылвенской впадины (Кудряшов, 2001).

Геологический разрез Соликамской впадины изучен опорной и нефтепоисковыми скважинами до глубины 2912 м. Общая характеристика разреза может быть представлена на примере Уньвинского нефтяного месторождения (Рис. 1). Буровыми скважинами вскрыты отложения вендского комплекса мощностью до 64 м.

ПАЛЕОЗОЙСКАЯ- PZ														
ЭРАТЕМА	СИСТЕМА	ОТДЕЛ / ВЕК	ЯРУС	ГОРИЗОНТ	МОЩНОСТЬ, м	ГЛУБИНА, м	Литологическая колонка	Описание пород	ЦИКЛЫ					
									D ₃ fr-C ₁ v		C ₁ s-P ₁ a		P ₁ a-P ₁ u	
									ЭТАПЫ					
									Эл.	Инф.	Эл.	Инф.	Эл.	Инф.
Четвертичная система					3-25	0		Глины, пески						
	ПЕРМСКАЯ - P	Приуральский – P ₁	P ₁ u	P ₁ šš	0-115	100		Аргиллиты, песчаники						
				P ₁ sl	110-180	200		алевролиты						
			P ₁ kg	P ₁ ir	200-440	300		Соляно-мергельная толща						
						400		Соляная толща						
						500								
				P ₁ ir	260-300	600								
						700		Глинисто-ангидритовая толща						
						800								
			P ₁ fl	42-92	900		Доломиты							
					1000		Известняки Мергели Доломиты							
					1100									
			1200											
	1300													
	P ₁ s+as		94-150	1500		Известняки								
	КАМЕННОУГОЛЬНАЯ - C	C ₃	C ₃ g + C ₃ k		31-100	1600		Известняки						
			C ₂	C ₂ m	C ₂ mc C ₂ pd C ₂ ks C ₂ vr	37-115 25-91 41-68 61-84	1700		Известняки					
					1800		Доломиты							
		C ₂	C ₂ b		36-88	1900		Известняки						
						2000		Известняки						
						2100		Доломиты						
		C ₁	C ₁ s		36-173	2200		Аргиллиты						
						2300		Песчаники						
						2400								
		ДЕВОНСКАЯ - D	D ₃	D ₃ fm		418	2500		Известняки					
2600								Известняки						
2700								Доломиты						
D ₂	D ₂ zv			47-64	2800		Аргиллиты							
					2900		Песчаники							
							Известняки							
PR	Вендская - V				30-64	2900		Известняки						

Рис. 1. Слева - геологический разрез Уньвинского нефтяного месторождения, справа – палеогидрогеологический Верхнекамского месторождения солей

Максимальная вскрытая мощность по району исследований достигает 392 м. Комплекс представлен алевролитами, аргиллитами, песчаниками. Выше залегают отложения девонской, каменноугольной, пермской, палеогеновой, неогеновой и четвертичной систем.

Отложения девонской системы представлены средним (преимущественно терригенным по составу) и верхним отделами. Средний выделен в объеме живетского яруса и сложен песчаниками, алевролитами и аргиллитами. Верхняя франско-фаменская толща сформирована известняками и доломитами, суммарная мощность которых достигает 600–800 м.

Каменноугольная система имеет повсеместное распространение и представлена всеми тремя отделами. Разрез сложен преимущественно карбонатными породами и только отложения нижневизейского возраста представлены терригенными образованиями. Суммарная мощность разреза каменноугольной системы варьирует от 560 до 1380 м.

К карбонатным отложениям фаменского, визейского, башкирского и московского возраста приурочены промышленные залежи нефти. Палеогидрогеологические условия формирования карбонатных коллекторов на примере Гежского месторождения подробно рассмотрены в работе (Тюрина, Ерофеев, 2018).

Отложения пермской системы, к которым и приурочена соляная залежь, представлены пачками сульфатных, карбонатных пород карнауховской свиты мощностью около 100 м, пород березниковской свиты, включающей соляную толщу и глинисто-ангидритовые породы.

Соляная толща месторождения, мощностью до 550 м и площадью 8,1 тыс. км², прослеживается в меридиональном направлении на 205 км, широтном – 55 км. Выше залегают соляно-мергельные отложения нижнесоликамской подсвиты мощностью 100 м (Рис. 2).













Верхнекамская подсвита представлена терригенно-карбонатными породами мощностью 90-170 м.

Выше залегают отложения шешминской свиты, представленные песчаниками, алевролитами с прослоями мергелей, известняков мощностью до 675 м.

Кайнозойские породы палеогена и неогена на площади месторождения развиты фрагментарно.

Четвертичная система представлена аллювиальными, эоловыми, торфяно-болотными, флювиогляциальными отложениями мощностью до 80 м.

По гидрогеологическому районированию территория месторождения относится к Предуральскому сложному бассейну пластовых вод. Соляная толща содержит небольшое количество маточных (седиментационных) рассолов. Минерализация рассолов достигает 320 г/дм³, состав – хлоридно-магниевый, хлоридно-натриевый, хлоридно-кальциевый.

СВИТА подсвита	Толща	Пачка	Литология	Средняя мощность, м
Нижне соликамская подсвита P _{1sl}	Соляно- мергельная толща (СМТ)	ПП		80
				20
Березниковская свита P _{1br}	Соляная	ПКС		20
		КП		54
		СП		17,5
		ПдКС		25
				330
				
	Глинисто- ангидритовая			230
Каранауховская подсвита P _{1kr}				100
				
				







	глина		мергель
	каменная соль		
	карналлитовая порода и каменная соль		
	сильвинит порода и каменная соль		
	известняки и доломиты		

Рис. 2. Стратиграфический разрез галогенной формации Соликамской впадины

Водоносная соликамская терригенно-карбонатная свита имеет площадное распространение в северной части месторождения. К югу она погружается под шешминский терригенный комплекс на глубину около 100 м. Подземные воды свиты, находящиеся выше эрозионного вреза долины р. Камы, являются гидрокарбонатно-кальцевыми, минерализация их – до 0,5–0,6 г/дм³.

Ниже распространены воды преимущественно сульфатно-хлоридные, минерализация их – 1,6–14,0 г/дм³.

Слабоводоносный локально-водоносный шешминский терригенный комплекс распространен преимущественно в южной части месторождения. Водоносные карбонатные, терригенные породы залегают в виде прослоев и линз различной мощности. Подземные воды, залегающие выше эрозионного вреза, имеют гидрокарбонатно-кальцевый состав, минерализация – до 0,5 г/дм³. Граница между пресными и минерализованными водами находится на глубине 100-150 м.

Приведенная характеристика литолого-фациальных, тектонических, гидрогеологических условий территории указывает на частую смену палеогеографических, палеотектонических условий в пределах исследованного района. Чередование морских и континентальных обстановок обусловило цикличность процессов осадконакопления.

По анализу литолого-фациальных, палеогеографических, палеотектонических условий в пределах исследованной территории в позднедевонскую-раннепермскую эпохи выделены 3 гидрогеологических цикла, включающих элизионный и инфильтрационный этапы (рис. 1).

1. Франско-визейский цикл. Элизионный этап охватывает позднедевонскую эпоху и турнейский век раннекаменноугольной эпохи. На данном этапе сформировался прибрежно-лагунный, рифовый тип разреза, представленный, в основном, карбонатными породами (известняки, доломиты). Мощность отложений 102-865 м. Инфильтрационный этап охватывает визейский век, когда накапливались, в основном, терригенные осадки, мощностью 90-330 м.

2. Серпуховско-артинский цикл. Элизионный этап охватывает время от серпуховского века раннекаменноугольной эпохи до раннеартинского века раннепермской эпохи. Разрез представлен карбонатными и сульфатными породами. Мощность отложений – до 1385 м. Инфильтрационный этап, возникший в результате положительных тектонических движений, включает урминскую свиту верхнеартинского горизонта артинского яруса нижней перми. Свита представлена алевролитами, аргиллитами, песчаниками. Мощность отложений – до 120 м.

3. Артинско-уфимский цикл. Элизионный этап охватывает позднеартинский век, кунгурский век и половину уфимского века. Присутствие в течении длительного времени тропического моря с большим количеством лагун способствовало формированию мощной соленосной толщи. Инфильтрационный этап, во время которого происходило интенсивное закарстовывание соляных отложений, начался со второй половины уфимского века и продолжается в настоящее время.

Таким образом, благоприятные палеогеографические, палеотектонические, палеогидрогеологические условия в артинско-уфимское время обусловили формирование мощной соленосной толщи Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей.

Библиографический список

1. Карцев А.А., Вагин С.Б., Басков Е.А. Палеогидрогеология. М.: Недра, 1969. 151 с.
2. Кирюхин В.А. Региональная гидрогеология. СПб, 2005. 341 с.
3. Кудряшов А.И. Верхнекамское месторождение солей. Пермь: ГИ УрО РАН, 2001. 429 с.
4. Смирнов С.И. Историческая гидрогеология. М.: Недра, 1991. 208 с.
5. Тюрина И.М., Ерофеев Е.А. Палеогидрогеологические условия формирования карбонатных коллекторов Гежского нефтяного месторождения / Геология и полезные ископаемые Западного Урала. Пермь, 2019. С. 303-307.

О ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТОДОВ ИЗОТОПНОГО АНАЛИЗА В ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

В настоящее время методы изотопного анализа широко используются как в России, так и за рубежом. В гидрогеологических исследованиях, в основном, применяются стабильные изотопы водорода ($\delta^2\text{H}$) и кислорода ($\delta^{18}\text{O}$).

В данной статье представлены основные направления использования стабильных изотопов водорода и кислорода при решении важных гидрогеологических задач. Показано, что методы изотопной масс-спектрометрии широко применяются в целях решения обширного круга проблем, таких как общие вопросы формирования подземных вод, водоснабжения, поисков нефти и газа, мелиорации и бальнеологии.

Ключевые слова: гидрогеологические исследования, подземные воды, изотопный метод, изотопы водорода и кислорода

A.S. Kazantseva

Mining Institute of the Ural Branch of RAS, Perm, kazanalena@bk.ru

ON THE POSSIBILITY OF USING METHODS OF ISOTOPIC ANALYSIS IN HYDROGEOLOGICAL RESEARCH

Currently, isotope analysis methods are widely used both in Russia and abroad. In hydrogeological studies, mainly stable isotopes of hydrogen ($\delta^2\text{H}$) and oxygen ($\delta^{18}\text{O}$) are used. This article presents the main directions of using stable isotopes of hydrogen and oxygen in solving important hydrogeological problems. It is shown that the methods of isotope mass spectrometry are widely used in order to solve a wide range of problems, such as general issues of groundwater formation, water supply, oil and gas exploration, reclamation and balneology.

Key words: hydrogeological research, groundwater, isotope method, isotopes of hydrogen and oxygen

Подземные воды являются ценнейшим полезным ископаемым и крупнейшим источником пресной воды. Изучение общих закономерностей формирования и распространения подземных вод – одно из основных направлений гидрогеологических исследований. На современном этапе развития науки и техники, в условиях внедрения новейших технологий, для решения гидрогеологических задач возникает необходимость использования современных методов исследований. Особое внимание уделяется изотопно-геохимическим методам исследования подземных вод, поскольку комплексное использование гидрогеохимических и изотопных исследований имеет большой потенциал для получения информации, необходимой для более эффективной оценки ресурсов подземных вод и осуществление прогнозирования состава и качества подземных вод, востребованного в практической деятельности (Казанцева, 2018).

В исследованиях наиболее часто применяются стабильные изотопы водорода и кислорода, точнее тяжелые изотопы водорода (^2H), поскольку простой водо-

род улетучивается быстрее тяжелого, и кислорода (^{18}O), поэтому под изотопным составом воды понимают содержания дейтерия ($\delta^2\text{H}$, δD) и кислорода-18 ($\delta^{18}\text{O}$). Применение изотопного метода в гидрогеологических исследованиях обусловлено тем, что стабильные изотопы воды сохраняют свою концентрацию и являются индикаторами геохимических условий, которые обусловили их накопление. Считается, что первозданный изотопный состав водорода и кислорода является природной константой. Затем в результате природных физико-химических процессов изотопный состав претерпевает изменения и, измеряя их концентрации, можно получить информацию о динамике природных вод, их качестве, о темпе водообмена, о генезисе и гидрогеохимических эффектах при взаимодействии воды и пород (Ферронский, Поляков, 2009).

Подземные воды зоны активного водообмена обычно имеют, как правило, инфильтрационное происхождение и их изотопный состав характеризуется средне-взвешенными концентрациями тяжелых изотопов в атмосферных осадках, а также зависит от состава поверхностных вод. Именно поэтому наиболее информативным подходом при изучении изотопного состава подземных вод является одновременное опробование атмосферных осадков и поверхностных вод.

На основе анализа работ отечественных и зарубежных исследователей сформированы главные направления использования стабильных изотопов ($\delta^2\text{H}$ и $\delta^{18}\text{O}$) при решении различных гидрогеологических задач:

- Оценка времени пребывания воды в природных резервуарах, времени обмена и транзита (определение “возраста” подземных вод).
- Определение областей, источников питания и разгрузки подземных вод, оценка локальности или протяжения зон питания водоносных горизонтов.
- Оценка характера и расхода питания грунтовых вод через зону аэрации.
- Оценка пропорций смешения вод различных типов.
- Установление роли разломов в динамике подземных вод.
- Изучение перетекания подземных вод через относительные водоупорные толщи.
- Установление связи поверхностных водоемов и водотоков с водоносными горизонтами.

Ниже приведены примеры использования стабильных изотопов водорода ($\delta^2\text{H}$) и кислорода ($\delta^{18}\text{O}$), которые были проведены впервые для решения ряда практических задач.

Водоснабжение. Проблема водоснабжения одна из важнейших задач народного хозяйства в условиях развития производства и коммунального хозяйства. Стабильные изотопы, начиная с 60-х гг. XX в., используются для решения задач водоснабжения. В этих исследованиях стабильные изотопы привлекаются в качестве определенного индикатора участка поступления и разгрузки подземных вод. В частности, Ж. Фонтом и др. в 1967 по изотопному составу атмосферных осадков ($\delta^2\text{H}$ и $\delta^{18}\text{O}$), в подземных, а также в поверхностных водах и скважинах бассейна р. Эвьян изучался гидрогеологический режим бассейна. В результате исследований определено время обновления подземных вод, а также установлены площадь водосбора и его высота над уровнем моря. В то же время, рассмотрены

различные модели водного баланса и оценены его отдельные составляющие. Полученные выводы представляют практический интерес при выборе мест для бурения и при планировании работ по водоснабжению (Theodorsson, 1967).

Общие вопросы формирования состава подземных вод: определение областей, источников питания, разгрузки подземных вод, установление взаимосвязи поверхностных водоемов и водотоков с водоносными горизонтами, оценка взаимосвязи подземных водоносных горизонтов, эти и другие вопросы решаются при использовании стабильных изотопов в исследованиях.

В 60-х гг. XX в. сотрудники Международного агентства по атомной энергии в ряде стран (Эквадор, Мексика, Южная Корея, Судан) проводили многочисленные исследования для определения доли речных вод в питании подземных вод. Эти исследования позволили выяснить, что изотопные методы являются наиболее действенными по сравнению с вычислением разности расходов на определенном участке русла реки. По разному изотопному составу предполагаемого источника легко определяется участие речных вод в питании подземных вод. Большая часть речной воды приходит из более высоких мест, и поэтому обеднена тяжелыми изотопами кислорода-18 и дейтерия, и легче, местных дождей (Пейн, 1982).

В СССР в 60-х-70-х гг. на территории Ленинграда для установления взаимосвязи водоносных горизонтов впервые применили изотопно-геохимические исследования (Соботович, Бондаренко, Ветштейн, 1977). По данным изотопного анализа была определена взаимосвязь поверхностных и подземных вод. В результате процессов неравновесного испарения концентрация стабильных изотопов ($\delta^2\text{H}$ и $\delta^{18}\text{O}$) в поверхностных водах превышает содержание кислорода-18 и дейтерия в атмосферных осадках и водах поверхностного стока. Изменения изотопного состава позволяет предполагать о подпитке подземных вод речными водами или другими поверхностными водотоками.

В Исландии на основе изотопных методов одни из первых проводили исследования по установлению областей питания подземных вод. В конечном итоге была построена карта распределения изоконцентраций дейтерия (Arnason, 1976; Mazor, 1976). Установление областей питания путем интерпретации изотопного состава вод основывается на различии в изотопном составе атмосферных осадков, обусловленном процессами конденсации атмосферной влаги.

В середине 60-х гг. Э. Дегенс изучал изменение изотопного состава вод через водовмещающие породы. Он установил, что при фильтрации через породы на расстояние 1100 км по выдержанному горизонту песчаников в Северной Африке изотопный состав кислорода ($\delta^{18}\text{O}$) практически был постоянен. Содержание дейтерия ($\delta^2\text{H}$) также не изменялось при движении вод в хорошо промытых структурах (Craig, 1966; Ferrara, Gonfiantini, Panichi, 1965), и возрастало в артезианских бассейнах с крайне замедленным водообменом. Такое распределение обусловлено различной долей участия древних морских вод, сингенетичных с осадочной толщей седиментационного бассейна, при смешении их с инфильтрационными водами метеорного происхождения.

Подобные исследования проведены Тейлором, Омото и др. в конце 70-х гг. в глубоких подземных водах седиментационных бассейнов (Тейлор, 1977). Изо-

топный состав подземных вод на стадии диагенеза осадочной толщи в подземных условиях подвержен изменению. При высоких температурах происходит изотопный кислородный обмен между подземными водами и водовмещающими породами, при этом содержание изотопа кислорода в подземных водах увеличивается. Изменение концентрации изотопа водорода ($\delta^2\text{H}$) выражено слабее, чем изменение кислорода-18, но все же меняется вследствие процессов обмена с гидроксидсодержащими минералами (например, глинистыми). В осадочных породах содержание кислорода на порядок выше содержания водорода. По концентрациям изотопа водорода подземные воды, сингенетичные с осадочной толщей седиментационного бассейна, отличаются от инфильтрационных метеогенных вод, поступающих в бассейн на континентальной стадии его существования.

Регулярный отбор проб воды (атмосферных осадков, поверхностных вод, подземных вод) является основой изотопных исследований. Хорошо организованный мониторинг позволит составить карты средневзвешенных поступлений дейтерия с осадками и позволит установить источник питания.

Нефтегазопроисловая геология и гидрогеология. Поиски нефти и газа в основном ведутся бурением и стоимость бурения каждой скважины достаточно велика. Основанные на изотопном составе воды надежные показатели позволят сократить количество скважин. Изучение изотопного состава водорода и кислорода подземных вод в артезианских нефтегазоносных бассейнах СССР проведено советскими учеными В. Е. Ветштейном, В. Г. Артемчуком, П. Г. Альтшулером и др. (Ветштейн, Артемчук, Альтшулер, 1978) по разрезу и по площади ряда (НГБ) СССР: Волго-Уральского, Днепровско-Донецкого, Каракумского, Припятского, Западно-Туркменского, Западно-Сибирского, Ангаро-Ленского и Терско-Каспийского. Исследования показали, что каждый нефтегазоносный бассейн характеризуется индивидуальными показателями изотопного состава. Тем не менее, в пределах отдельных бассейнов и водоносных комплексов выявлены близкие характеристики изотопно-гидрогеохимических показателей, которые свидетельствуют об идентичных условиях их формирования. Смешение океанических (морских) вод с метеорными водами является главным процессом формирования глубоких подземных вод. При постоянном и длительном контакте с вмещающими породами концентрация тяжелых изотопов увеличивается, а во вмещающих породах и растворенных веществах уменьшается.

При решении задач **шахтной гидрогеологии** по изотопным данным удастся расчленять водопритоки в горные выработки и делать прогнозы об их временной изменчивости. С помощью данных по распределению дейтерия и кислорода-18 в поверхностных и подземных водах немецкие специалисты Harzer D., Pilot I. и Rusier H. I. Фрайбергской горной академии ГДР в 1968 г. определили гидрогеологическую обстановку в пределах калийного рудника, поскольку применение классических методов было нецелесообразно.

Мелиорация. При мелиоративных гидрогеологических исследованиях стабильные изотопы могут быть использованы для решения следующих задач: оценка и определение источников засоления почв, оценка эффективности работы дренажных систем, определение фильтрации воды из каналов и водохранилищ, а также оценке доли возвратных вод, поступающих в водоносные гори-

зонты. Впервые в мировой практике мелиоративной гидрогеологии на территории бывшего Советского союза в 1974 г. проводился мониторинг по выяснению закономерностей распределения стабильных изотопов ($\delta^2\text{H}$ и $\delta^{18}\text{O}$) в поверхностных и подземных водах зоны активного водообмена северо-западной части Украинского для установления причин переувлажнения земель этого региона. На основе применения изотопных методов в этом районе решен вопрос происхождения и условий формирования болотных и озерных вод, установлены источники питания и разгрузки, а также выявлена взаимосвязь между водоносными горизонтами. В результате сделан вывод, что основная доля в питании болотных вод принадлежит подземным напорным водам верхнемеловых отложений, а также оценена доля напорных вод для каждого участка [<http://biofile.ru/geo/23268.html>].

Бальнеология. Понимание происхождения и условий формирования минеральных вод позволяет провести оценку ресурсов, степени их возобновляемости, а также обеспечить их рациональную эксплуатацию. Поэтому изучение состава минеральных вод, в том числе на основе применения методов масс-спектрометрии, определяется большой их значимостью. Басковым Е. А., Горбушиной Л. В., Лапшиным Ф. В., Пиннекером Е. В. и другими исследователями, начиная с 70-х годов, на территории Советского Союза и сопредельных территорий велись систематические изучения изотопного состава минеральных вод, используемых в бальнеологии. Было установлено следующее: изотопный состав минеральных азотных и азотно-метановых терм карбонатного, гидрокарбонатного, сульфатного и хлоридно-сульфатного составов, а также углекислых терм и холодных вод гидрокарбонатного состава в разных регионах характеризуются концентрациями стабильных изотопов близкие к содержанию их в атмосферных осадках и речных вод. Сделан вывод, что минеральные воды этих регионов имеют метеоинфильтрационный генезис. Мацестинские сульфидные воды Сочи-Адлерского артезианского бассейна являются исключением, поскольку в юрских отложениях изотопный состав близок к реликтовым водам древнего морского бассейна, а в меловых – связано со смешением метеорных вод с водами юрских отложений [<http://biofile.ru/geo/23268.html>].

Изотопные методы в настоящее время используются на разных этапах гидрогеологических и геологических исследований:

На этапе съемочных работ методы масс-спектрометрии позволяют количественно оценивать питание грунтовых вод через зону аэрации, определять время водообмена в водоносных горизонтах и комплексах, устанавливать высотную (орографическую) приуроченность областей питания, прогнозировать защищенность подземных вод от воздействия антропогенных загрязнений, проводить палеогидрогеологические реконструкции.

При разведочных работах изотопные методы могут быть, в частности, использованы при региональной оценке формирования естественных ресурсов подземных вод. В этом случае изотопные методы удовлетворяют главному требованию этой стадии разведки, на которой необходимо применять такие методы, которые, с одной стороны, не требуют специальных дорогостоящих разве-

дочных и опытных работ, а с другой – позволяют получить результаты с достаточной для практических целей точностью.

Кроме этого, естественные стабильные изотопы успешно могут быть использованы при определении составляющих эксплуатационных запасов подземных вод, прогнозировании качества подземных вод, планировании мероприятий по их охране от загрязнений при эксплуатации и уточнении региональной оценки эксплуатационных ресурсов подземных вод [[http://option2000.narod.ru /phoenix2.htm](http://option2000.narod.ru/phoenix2.htm)].

Открытие изотопов, развитие и усовершенствование масс-спектрометрической техники высокого разрешения оказало огромное влияние на гидрогеологические исследования. Изотопная гидрогеология – быстро прогрессирующее и одно из самых молодых направлений, завоевавшее в последние 50 лет большую популярность за рубежом и в России. В настоящее время методы изотопной масс-спектрометрии достигли той стадии развития, когда при решении обширного круга проблем современной гидрогеохимии спорадические исследования заменяются систематическим. Преимуществом применения изотопных методов является то, что исследуемые параметры могут быть оценены при использовании малого объема опробования в короткий промежуток времени.

Библиографический список

1. Ветштейн В.Е., Артемчук В.Г., Альтишлер П.Г. Формирование изотопного состава пластовых вод нефтегазоносных бассейнов СССР. В кн.: Тезисы докладов УП Всесоюзного симпозиума по стабильным изотопам в геохимии. М., ГЕОХИ АН СССР, 1978, с. 128-129.
2. Казанцева А.С. История изотопных исследований в гидрогеологии // Вектор ГеоНаук. 2018. Т.1. №3. С. 11-22.
3. Пейн Б.Р. Методы изотопной гидрологии – практическое решение водных проблем // Бюллетень МАГАТЭ, Том 24, №3, – Вена, 1982. – стр. 9-12.
4. Соботович Э.В., Бондаренко Г.Н., Ветштейн В.Е. и др. Изотопно- геохимические методы оценки степени взаимосвязи подземных и поверхностных вод. – Киев: Наукова думка, 1977. – 154 с.
5. Тейлор Х. П. Применение изотопии кислорода и водорода к проблемам гидротермального изменения вмещающих пород и рудообразования. — В кн.: -Стабильные изотопы и проблемы рудообразования. М., Мир, 1977, с. 213—298.
6. Ферронский В.И., Поляков В.А. Изотопия гидросферы Земли. – М.: Научный мир, 2009. – С. 15.
7. Arnason B. Hydrothermal systems in Iceland traced by deuterium. — Geothermics, 1976, vol. 5. p. 125—151.
8. Craig H. Isotopic composition and origin of the Red Sea and Salton Sea geothermal brines. — Science, 1966, vol. 154, p. 1544—1548.
9. Ferrara G. C., Gonfiantini R., Panichi C. La composizione isotopica della vapore de alcuni soffioni di Larderello e della'acqua di alkune sorgenti e moffete della Toscana. — In: Atti. soc. tosc. sci. nat., 1965, t. 75, p. 570—588.
10. Mazor E. The Ram Crater Lake. A note on the revival of a 2000-year old groundwater tracing experiments. — In: Interp. of environm. isotope and hydrochemical data in groundwater hydrology. Proc. Adv. Group Meeting IAEA, 1976, p. 179—181.
11. Theodorsson P. Natural tritium in groundwater studies // Isotope in Hydrology. Proc Symp. IAEA. 1967. P. 371-380.
12. <http://biofile.ru/geo/23268.html>
13. <http://option2000.narod.ru/phoenix2.htm>

Е.С. Ушакова¹, А.Д. Перевощикова², М.А. Волкова²

¹ЕНИ ПГНИУ, ushakova.evgeniya@gmail.ru,

²ПГНИУ, a.rina.perevoshchikova@yandex.ru, margo@psu.ru

ОЦЕНКА СОДЕРЖАНИЯ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ БЕРЕЗНИКОВСКОГО ГОРОДСКОГО ОКРУГА (ПЕРМСКИЙ КРАЙ)

Развитие промышленности, транспорта способствует увеличению загрязнения донных отложений в пределах урбанизированных территорий. Целью исследования является эколого-геохимическая оценка донных отложений малых рек с использованием индекса геоаккумуляции. В результате исследования установлено, что среди группы проанализированных элементов наибольшим количеством высоких значений этого индекса в донных отложениях Березниковского городского округа характеризуется Hg (1,27-4,37), Cd (2,75-4,27), Co (4,10-1,10), Mo (1,64-1,30), высокие разовые значения указанного критерия отмечены для Ag (7,18) и Te (2,95). Полученные значения индекса геоаккумуляции позволили наметить группу микроэлементов, которую можно рекомендовать к изучению и наблюдению при планировании хозяйственного использования водоемов и проведении восстановительных работ.

Ключевые слова: микроэлементы, донные отложения, индекс геоаккумуляции

E.S. Ushakova¹, A.D. Perevoshchikova², M.A. Volkova²

¹Natural Science Institute of Perm State University ushakova.evgeniya@gmail.ru,

²Perm State University, a.rina.perevoshchikova@yandex.ru, margo@psu.ru

ASSESSMENT OF TRACE ELEMENTS CONTENT IN BOTTOM SEDIMENTS OF BEREZNIKI MUNICIPAL DISTRICT, PERM REGION

The development of industry and transport contributes to increased pollution of bottom sediments within urbanized areas. The purpose of the study is ecological and geochemical assessment of sediments in small rivers using the geoaccumulation index. As a result of the study, it was found that among the group of analyzed elements, the highest number of high values of this index in the bottom sediments of Berezniki urban district is characterized by Hg (1,27-4,37), Cd (2,75-4,27), Co (4,10-1,10), Mo (1,64-1,30), high single values of this criterion are noted for Ag (7,18) and Te (2,95). The obtained values of the geoaccumulation index made it possible to identify a group of microelements, which can be recommended for study and observation during the planning of the economic use of water bodies and rehabilitation works.

Key words: trace elements, bottom sediments, geoaccumulation index

Введение

Малые реки выполняют важную экологическую роль за счет формирования гидрологического и гидрохимического режима более крупных рек. Химический состав природных вод, в том числе и малых рек, является показателем зональных и региональных условий их формирования, а также антропогенных процессов, происходящих на водосборной площади. На территориях с высокой антропогенной нагрузки важной и актуальной задачей является изучение экологического состояния и микроэлементного состава донных отложений малых рек (Дементьев и др, 2015; Пузик, Ушакова, Падерин, 2020; Слуковский, 2014;

Меньшикова, 2016). Среди широкой группы микроэлементов особое значение имеет изучение тяжелых металлов. Как правило, концентрации тяжёлых металлов в воде ниже, чем в донных отложениях, что во многом определяется их быстрым переходом из растворенного состояния во взвеси, обладающие высокой сорбционной способностью. Поэтому донные отложения накапливают информацию о химических загрязнениях, присутствующих в воде.

Согласно опубликованным данным в донных отложениях рек на территории российских городов рядом с промышленными предприятиями, автомобильными и железными дорогами зафиксированы повышенные концентрации Zn, Cu, Pb, Ni (Слуковский, 2014; Касимов, Корляков, Кошелева, 2017; Уваров, 2015; Кондратьева, Выборнова, Исмаилова, 2013). Прогрессирующее загрязнение донных отложений тяжелыми металлами в связи с интенсивной антропогенной нагрузкой является серьезной экологической проблемой городских территорий (табл. 1).

Таблица 1. Среднее содержание элементов в донных отложениях в пределах городских территорий, мг/кг (Слуковский, 2014; Касимов, Корляков, Кошелева, 2017; Уваров, 2015; Кондратьева, Выборнова, Исмаилова, 2013)

Элементы	г. Улан-Удэ		г. Москва	г. Казань	г. Петрозаводск	г. Красноярск
	р. Селенга	р. Уда	р. Москва	р. Казанка	р. Неглинка	р. Енисей
Ni	16,3	9,40	2,85	11,4	29,8	31,0
Cu	13,1	10,4	2,79	15,8	74,0	13,5
As	3,20	1,20	-	-	-	3,1
Cd	0,1	0,1	0,38	0,7	-	0,78
Pb	20,3	18,7	1,03	14,1	31,0	12,7
Zn	59,7	60,3	10,41	30,4	159,3	74,1
Co	7,80	6,80	0,76	-	17,8	-

Несмотря на повышенный интерес к экологическому состоянию донных отложений при научных исследованиях, в настоящее время недостаточно разработана система нормирования их состояния градостроительными, природоохранными и санитарными нормами, что не позволяет дать обоснованную характеристику уровня их загрязнения. Это связано с тем, что с одной стороны ПДК для донных отложений отсутствуют, с другой – донные отложения близки по вещественному составу к почвам при этом они не являются почвой как объектом землепользования. В связи с этим важной задачей в области экологического нормирования является поиск подходов к установлению стандартов качества донных отложений как фактора риска для водной экосистемы (Косинова, Соколова, 2015).

Территория и методы исследований

Город Березники находится в 160 км к северу от г. Перми и является крупнейшим промышленным центром Пермского края, здесь расположены предприятия по добыче и переработке калийно-магниевых солей, месторождения нефти и газа и строительных материалов.

Спецификой калийного производства является накопление отходов в шламохранилищах и солеотвалах. Галитовые отходы и глинисто-солевые

шламы характеризуются высоким содержанием хлоридов, сульфатов, Na, K, Ba, Fe, Cd, Co, Mn, Cu, Ni, Rb, Sr, Cr, Zn, Br. Ранее были проанализированы сточные и поверхностные воды, донные отложения в районе расположения солеотвала в пределах бассейна рек Волим и Ленва на территории Березниковского городского округа. Стоки с солеотвала характеризуются хлоридно-натрий-калиевым-сульфатным составом. Высокие концентрации среди макроэлементов отмечаются для Ca, Mg, среди микроэлементов – Sr, Mn, Pb, Ba, Cr, Zn, Li, V и ряд других редких элементов (Хайрулина, Максимович 2012; Хайрулина, 2018).

На территории исследования были также проанализированы пробы воды из Нижнезырянского водохранилища, впадающих в него рек и ручьев и вытекающей из него р. Зырянки. Было обнаружено, что в водах водохранилища в повышенном количестве содержатся нефтепродукты и тяжелые металлы, такие как Zn, Co и Ni (Максимович, Первова, 2012).

Сточные воды промышленных предприятий г. Березники после предварительной очистки направляются в промышленный канал, далее в ковш-отстойник промышленного канала, перекачиваются и поступают через рассеивающий выпуск в р. Каму (Камское водохранилище). Исследованиями (Калинина и др. 2011) в донных отложениях промышленного канала в существенных концентрациях были обнаружены V, Cu, Zn, Cd, As, Ni, Hg, Pb, Cr, Sb и др.

Авторами на примере территории Березниковского городского округа Пермского края выполнена оценка уровня загрязнения микроэлементами донных отложений водотоков. В качестве метода оценки использован широко применяемый за рубежом индекс геоаккумуляции I_{geo} (по Мюллеру (Muller, 1969)):

$$I_{geo} = \log_2(C_n/1,5B_n),$$

где I_{geo} – индекс геоаккумуляции; C_n – концентрация рассматриваемого элемента в донных отложениях; B_n – геохимический фон рассматриваемого элемента; 1,5 – коэффициент, выражающий естественную вариативность содержания рассматриваемого элемента в окружающей среде.

Пробы донных отложений были отобраны в летний период 2019 г. Лабораторные исследования проводились на базе сектора наноминералогии «Центра коллективного пользования Пермского государственного национального исследовательского университета». Содержание элементов в пробах определяли масс-спектральным методом на приборе BRUKER AURORA M90 ICP-MS.

В аспекте геологических наук речные бассейны являются важными зонами современного континентального осадконакопления. Гранулометрический, минеральный и химический состав аллювия (или донных отложений в практике экологических исследований) определяется составом пород питающих терригенно-минералогических провинций и фациальной обстановкой осадконакопления, зависит от климатических, геоморфологических и др. природных факторов (Осовецкий, Меньшикова, 2006). С учетом особенностей геологического строения территория исследований расположена в пределах развития отложений шешминского ($P_{1\text{šš}}$) и соликамского (P_{1sl}) горизонтов уфимского яруса верхнего отдела пермской системы. С целью оценки роли геохимических особенностей верхней части геологического разреза в форми-

ровании микроэлементного состава донных отложений малых рек отобранные пробы анализировались по двум группам.

В границах территории исследований наиболее распространенными поверхностными образованиями являются шешминские отложения (более 80% от общей площади). Это песчаники и алевролиты, иногда с маломощными пропластками мергеля и известняка, нередко с медистыми соединениями в виде малахита и азурита (медистые песчаники). Наблюдается загипсованность в виде линзовидных прослоев согласных и секущих прожилков гипса. Количество точек опробования, находящихся в пределах поверхностного распространения отложений шешминского горизонта пермской системы составило 9 (рис.).



Рис. Карта-схема расположения точек отбора проб в районе исследования

Менее распространены на территории исследований соликамские отложения, которые сложены карбонатными породами, алевролитами, песчаниками. Карбонатные породы характеризуются различным содержанием глины – от чистых известняков до известковой глины. Встречаются прослои гипса и ангидрита. В пределах залегания отложений соликамского горизонта пермской системы располагается 4 точки опробования.

В качестве условного фона выбраны участки в границах соликамских и шешминских отложений, расположенные на значительном удалении от источников антропогенного воздействия (рис.).

Результаты и их обсуждение

Обобщенные данные о концентрациях микроэлементов в исследованных водотоках представлены в табл. 2. Для донных отложений в границах залегания соликамских отложений с учетом диапазона средних концентраций характерны незначительные содержания Hg, Te, Mo, Sb и W (менее 1 мг/кг). Максимальные содержания характерны для Zn, Ni, Cu, Co и Li (более 20 мг/кг).

Ранее проведенные исследования (Калинина, Чиркова, Чайковский, 2016) показали, что для верхней части разреза терригенно-карбонатных пород соликамских отложений характерны максимальные концентрации Be, Y, Tr, Re, Hg, Pb, Bi, Sn, Te. При этом содержание большинства акцессориев (P, Zr, Hf, Ti, V, Nb, Sc, Ta, Mn, Co, Ag, Cd, I) сильно варьируется, что связывается с различным содержанием терригенной составляющей в мергелях.

Таблица 2. Содержание микроэлементов в донных отложениях Березниковского городского округа, мг/кг

Элемент	P ₁ šš			P ₁ sl		
	Фон	Диапазон	Среднее	Фон	Диапазон	Среднее
Li	13,87	1,05-30,14	11,54	5,80	5,50-30,14	20,49
Be	0,72	0,24-1,48	0,53	0,35	0,35-1,37	1,08
Co	9,81	2,34-31,57	12,54	1,60	1,60-41,43	20,42
Ni	18,90	5,79-34,33	20,06	38,10	37,30-39,95	37,42
Cu	14,20	14,20-221,02	53,14	25,30	21,60-25,60	23,67
Zn	44,50	9,98-54,50	33,33	49,60	41-57,42	50,63
As	4,0	0,83-12,73	2,98	8,20	8,10-15,31	11,08
Se	0,35	0,35-1,41	0,83	1,04	1-1,23	1,10
Mo	0,22	0,11-0,97	0,34	0,15	0,15-0,67	0,52
Ag	4,92	0,07-7,61	1,84	0,04	0,04-9,26	2,37
Cd	4,92	0,07-7,61	1,84	1,96	0,78-1,99	1,49
Sn	0,68	0,10-1,48	0,45	0,63	0,63-1,48	1,12
Sb	0,29	0,16-1,01	0,34	0,28	0,28-0,83	0,63
Te	0,42	0,03-1,01	0,44	0,07	0,03-0,86	0,25
Cs	1,24	0,05-1,93	0,68	0,48	0,48-1,82	1,25
W	0,49	0,08-1,04	0,35	0,28	0,28-1,04	0,79
Hg	0,03	0,03-0,93	0,23	0,06	0,03-0,28	0,14
Pb	7,30	3,34-18,13	8,31	15,60	13,06-19	16,01

Таблица 3. Значения индекса геоаккумуляции в донных отложениях водотоков Березниковского городского округа Пермского края

Место отбора, номер точки на схеме	Территория распространения отложений шешминского горизонта (P ₁ šš)																	
	Li	Be	Co	Se	Mo	Ag	Sn	Sb	Te	Cs	W	Ni	Cu	Zn	As	Cd	Hg	Pb
4	-4,30	-3,51	1,10	-0,04	1,54	-5,93	-3,29	-1,34	-0,11	-5,15	-1,02	0,27	0,63	-0,27	-1,89	-1,87	4,37	0,73
5	-1,45	-1,98	-2,35	1,15	-0,89	-4,41	-2,11	-0,86	-0,89	-2,05	-2,00	-2,16	0,69	-2,46	-2,85	2,90	1,29	-0,16
6	-1,66	-2,12	-2,65	0,29	-1,62	-4,66	-2,49	-1,45	-1,35	-2,50	-2,33	-2,29	0,67	-2,74	-1,53	2,75	1,41	-1,71
7	0,07	0,05	1,10	0,43	0,76	-2,81	-0,19	-0,06	-0,22	-1,14	-0,45	0,67	3,38	-0,31	-0,54	4,27	2,30	-0,29
9	-1,57	-2,05	-2,23	1,41	-0,74	-4,84	-2,93	-1,19	-1,80	-2,76	-3,11	-2,07	0,85	-2,63	-1,27	2,56	0,67	-1,59
10	0,16	0,10	0,07	0,76	0,56	0,04	0,18	1,19	0,68	0,05	0,29	0,37	-0,06	0,13	-0,23	-2,35	-0,17	0,17
12	-0,67	-0,91	-0,49	-0,41	-0,40	-2,54	-1,42	-0,47	-0,71	-1,51	-1,28	-0,82	1,04	-1,61	-0,70	3,66	3,27	-0,74
13	-1,12	-1,50	-1,37	1,35	-1,49	-3,32	-2,16	-1,09	-1,09	-2,20	-2,44	-1,41	0,87	-1,84	-1,04	3,37	1,61	-1,19
	Территория распространения отложений соликамского горизонта (P ₁ sl)																	
8	1,16	1,06	4,10	-0,35	1,57	7,18	0,29	0,40	2,95	1,32	1,22	-0,62	-0,81	-0,86	-0,60	-1,91	-1,58	-0,30
1	1,61	1,36	3,36	-0,46	1,64	0,91	0,38	0,94	-1,25	0,31	0,93	-0,52	-0,57	-0,37	0,32	-0,56	1,66	-0,51
2	1,79	1,46	2,53	-0,65	1,30	0,18	0,64	0,95	-1,71	1,29	1,27	-0,74	-0,77	-0,45	0,05	-1,22	1,27	-0,84

Оценка уровня загрязнения осадков по индексу геоаккумуляции (I_{geo}) (Muller, 1969) :

Класс	Значения	Уровень техногенного загрязнения
0	I _{geo} ≤ 0,0	Практически незагрязненный;
1	<0,0 I _{geo} 1,0<	Незагрязненный до умеренно загрязненного;
2	<1,0 I _{geo} 2,0<	Умеренно загрязненный;
3	<2,0 I _{geo} 3,0<	От умеренно до сильно загрязненного;
4	<3,0 I _{geo} 4,0<	Сильно загрязненный;
5	<4,0 I _{geo} 5,0<	От сильно до чрезмерно загрязненного;
6	I _{geo} ≥ 5,0	Чрезмерно загрязненный.

Для донных отложений в границах залегания шешминских отложений в группе элементов с низкими концентрациями отмечены – Se, Cs, Be, Sn, Te, W, Mo, Sb и Hg (содержание менее 1 мг/кг). При этом максимальные концентрации также как и для территории залегания соликамских отложений характерны для Cu, Zn и Ni (содержание более 20 мг/кг). В целом концентрации изученных микроэлементов в донных осадках на территории распространения шешминских и соликамских отложений формирует следующую геохимическую последовательность: Zn>Ni>Cu>Li>Co>Pb>As>Ag>Cd>Cs>Sn>Se>Be>W>Sb>Mo>Te>Hg.

Согласно результатам исследований (Меньшикова, Ворончихина., Ждакаев, 2019) цинк, возглавляющий геохимическую ассоциацию, доминирует в составе аэрогенного рассеивания. На данной территории его концентрация в составе атмосферных выпадений устойчиво превышает фоновый показатель в 3 раза. Далее он активно вымывается из почв и грунтов водными потоками и утрачивает миграционную активность, проявляя склонность к осаждению в донных отложениях.

Это снижает его экологическую опасность в сравнении со Pb, Cd и Cu, менее склонными к осаждению из поверхностных вод, что повышает их биологическую доступность, многократно увеличивая опасность для человека.

Сравнительный анализ данных по условно фоновым участкам показывает, что в донных отложениях на территории распространения шешминских отложений характерны более существенные концентрации Ag, Co, Te, Cs, Cd, Li и Be. При этом геохимическая специфика фонового участка в границе развития соликамских отложений характеризуется более высокими содержаниями Se, As, Hg, Pb, Ni и Cu. Этот факт имеет отражение при расчете индекса геоаккумуляции (табл. 3).

Донные отложения в исследуемых пунктах по критерию геоаккумуляции характеризуются различным уровнем загрязнения. При этом среди группы проанализированных элементов наибольшим количеством высоких значений этого индекса характеризуется Hg (от 2 до 5 класса загрязнения), Cd (от 3 до 5 класса загрязнения), Co (от 2 до 5 класса загрязнения), Mo (2 класс загрязнения). Кроме того, высокие разовые значения указанного критерия в донных отложениях в пределах развития соликамского горизонта отмечены для Ag (6 класс загрязнения) и Te (3 класс загрязнения).

С учетом полученных значений индекса геоаккумуляции наиболее широкая ассоциация микроэлементов, формирующая в донных отложениях уровень загрязнения от «умеренно до сильно загрязненных», отмечена в р.Зырянке и ее притоках в зоне влияния калийного производства. Очевидно, требуют изучения вопросы аккумуляции Cd и Hg в донных отложениях рек Ленвы и Волима (возможное влияние калийного производства), водных объектов в районе нефтяного месторождения Сухарева.

Заключение

Полученные значения индекса геоаккумуляции донных отложений Березниковского городского округа позволили наметить группу микроэлементов, которую можно рекомендовать к изучению и наблюдению при планировании хозяйственного использования водоемов и проведении восстановительных работ. Наибольшего внимания заслуживают высокотоксичные Cd, Hg, а также Co, Mo, Ag и Te.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-05-50071 и Министерства науки и высшего образования проект № 2019-0858.

Библиографический список

1. Дементьев Д.В. и др. Содержание тяжёлых металлов в донных отложениях реки Енисей в районе Красноярска. // Известия Томского политехнического университета. 2015. Т. 326. №5. С. 91-98.
2. Пузик А.Ю., Ушакова Е.С., Падерин А.А. Микроэлементный состав малых рек бассейна р. Чусовой (на примере рек Чусовского района Пермского края) // Сергеевские чтения: геоэкологические аспекты реализации национального проекта «Экология». Диалог поколений. Вып. 22: материалы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии (24 марта 2020 г.). Москва: РУДН, 2020. С.379-385.
3. Слуковский З.И. Эколого-геохимический анализ состояния донных отложений малых рек урбанизированных территорий (на примере города Петрозаводска): автореф. дис. ... канд. биол. наук. Петрозаводск, 2014. 23 с.
4. Меньшикова Е.А. Трансформация аллювиальных отложений малых рек в условиях сброса сточных вод //Геология и полезные ископаемые Западного Урала. 2016. №16. С. 66-69.
5. Касимов Н.С., Корляков И.Д., Кошелева Н.Е. Распределение и факторы аккумуляции тяжелых металлов и металлоидов в речных донных отложениях на территории г. Улан-Удэ // Вестник РУДН. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2017. Том 25. №3. С.380-395. DOI 10.22363/2313-2310-2017-25-3-380-395.
6. Уваров А.Г. Оценка степени загрязнения тяжелыми металлами реки Москвы и возможность использования макрофитов рода *potamogeton* для биомониторинга тяжелых металлов в реке // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. Том 17. №6. 2015. С 150-158.
7. Кондратьева Т.А., Выборнова И.Б., Исмаилова Р.Н. Оценка экологического состояния водоемов города Казани // Вестник Казанского технологического университета. 2013. № 3 (16). С. 151-155.
8. Косинова И.И., Соколова Т.В. Методологические особенности оценки экологического состояния донных отложений искусственно созданных водных объектов // Воронежский государственный университет // Вестник ВГУ. Серия: Геология. 2015. №3. С. 113-121.
9. Хайрулина Е.А., Максимович Н.Г. Влияние стоков солеотвала калийного предприятия на химизм приповерхностной гидросферы // Геохимия ландшафтов и географии почв. Доклады Всероссийской науч. конф. Москва, 2012. С. 340-342.
10. Хайрулина Е.А. Воздействие фильтрационных вод шламохранилища с солесодержащими отходами на поверхностные и подземные воды // Географический вестник. 2018. № 2 (45). С. 145-155.
11. Максимович Н.Г., Первова М.С. Влияние перетоков минерализованных вод Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей на приповерхностную гидросферу // Инженерные изыскания. № 1. 2012. С. 22-28.

12. Калинина Е.В., Рудакова Л.В., Дьяков М.С., Коробова Н.Е. Использование ресурсного потенциала донных отложений сооружений по очистке сточных вод предприятий химической отрасли г. Березники // Вестник ПНИПУ. Урбанистика. 2011. №4. С. 96-106.
13. Muller, G. Index of Geo-Accumulation in Sediments of the Rhine River // *GeoJournal* 1969, 2, 108–118.
14. Осовецкий Б.М., Меньшикова Е.А. Природно-техногенные осадки. Пермь, 2006. 208 с.
15. Калинина Т.А., Чиркова Е.П., Чайковский И.И. Геохимия терригенно-карбонатных и сульфатных пород соликамской свиты Соликамской впадины (Предуральский краевой прогиб) // Вестник Пермского университета. 2016. С. 14-25.
16. Меньшикова Е.А., Ворончихина Е.А., Ждакаев В.И. Водная миграция технофильных элементов при добыче и переработке ископаемых солей: проблемы и перспективы экологизации // Современные проблемы водохранилищ и их водосборов: тр. VII Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участ. ПГНИУ. Т.2. Пермь, 2019. С.150-155.

С.С. Ваганов, С.М. Блинов
ПГНИУ, vaganov_ss@mail.ru

ВЛИЯНИЕ РАЗГРУЗКИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД НА ФОРМИРОВАНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ВОДЫ р. ВИШЕРЫ

Изучены расходы и химический состав источников подземных вод, разгружающихся субаквально в реки и карстовые озера на территории заповедника Вишерский. Определено влияние разгрузки подземных вод карстовых массивов на изменение расхода, температуры и химического состава воды р. Вишеры. Сделан вывод о значительной роли субаквальных карстовых источников в формировании гидрологического, температурного и гидрохимического режима р. Вишеры.

Ключевые слова: подземные воды, карст, субаквальные карстовые источники, р. Вишера, заповедник «Вишерский»

S.S. Vaganov, S.M. Blinov
Perm State University, vaganov_ss@mail.ru

INFLUENCES OF DISCHARGE OF UNDERGROUND WATER ON THE FORMATION OF THE CHEMICAL STATE OF THE VISHERA RIVER WATER

The expenditure and chemical composition of groundwater sources discharged subaqueously into rivers and karst lakes in the Vishersky Reserve has been studied. The impact of ground water unloading of karst massifs on changes in discharge, temperature and chemical composition of water in the Vishera River has been determined. The conclusion was made about the significant role of subaqueous karst sources in the formation of hydrological, temperature and hydrochemical regime of the Vishera River.

Keywords: underground water, karst, subaqueous karst springs, the Vishera River, the reserve "Visherskiy"

Разгрузка подземных вод карстовых массивов горных пород часто носит субаквальный концентрированный характер, т.е. осуществляется в виде подводных источников (родников) со дна рек, озер и морей (Максимович, 1963; Дублянский; Дублянская, 2004). Нередко мощная субаквальная разгрузка подземных вод приводит к значительным изменениям расхода, температуры и химического состава воды рек, снижению содержания растворенного кислорода и изменению некоторых других параметров (Блинов, Лавров, Тюрина, 2004; Блинов, Батулин Лавров, 2006; Блинов и др. 2006). Такие изменения могут существенно влиять как на сами поверхностные водные объекты, так и на состояние биотических компонентов окружающей среды (Абдуллин др. 2008). В связи с этим изучение субаквальной разгрузки подземных вод является важной гидрогеологической, гидрологической и геоэкологической задачей (Блинов, Щукова, Батулин, 2010).

Вместе с тем устья субаквальных источников значительную часть года или постоянно находятся под водой, т.е. скрыты от глаз наблюдателей толщей воды. В связи с этим поиск и исследование субаквальных источников подземных вод является сложной задачей, требующей применения как обычных, так и специальных методов исследования (Блинов, Лавров, Батулин, 2005).

На кафедре динамической геологии и гидрогеологии Пермского университета изучение субаквальных карстовых источников является традиционным направлением гидрогеологических и карстологических исследований (Блинов, 2016). Разработаны методологические основы и комплекс методов поиска и исследования субаквальных источников (Блинов, Щукова, 2008), которые были опробованы на территориях распространения различных типов карста (Катаев и др., 2007; Батулин, Блинов, 2008; Блинов, Хмурчик, Лавров, 2006; Ваганов, 2017).

Заповедник «Вишерский» занимает северо-восточную часть Пермского края. Площадь заповедной территории составляет 2412 квадратных километров. Геологический разрез территории представлен рифейскими и палеозойскими породами. Значительную площадь Вишерского заповедника занимают выходы на поверхность закарстованных карбонатных горных пород – известняков, доломитов, мраморов. Особенно активно карстовые процессы проявляются в долинах рек, которые представляют собой ослабленные зоны трещиноватых горных пород. Именно для этих зон характерно наличие большого количества карстовых воронок. Реки нередко поглощаются карстовыми воронками и на отдельных участках имеют только подземный подрусловый сток, вновь появляясь ниже по течению в виде мощных карстовых источников. Многие карстовые источники разгружаются субаквально, со дна рек и карстовых озер (Блинов, Лавров, Батулин, 2008).

Для поиска и изучения субаквальных карстовых источников заповедника «Вишерский» в 2005-2006 г за счет средств гранта РФФИ № 05-05-64548_а были проведены полевые экспедиционные работы. В результате исследований были открыты и изучены не известные ранее субаквальные карстовые источники (Блинов, Лавров, Жаков, 2006; Белкин, Ваганов, 2016).

Полученные на том этапе результаты стали основой исследований, отраженных в данной публикации. Сделанные тогда выводы требовали подтверждения и до-

полнительных исследований. В связи с этим целью данной работы являлось изучение выявленных ранее, а также поиск и исследование до настоящего времени неизвестных субаквальных источников на территории заповедника «Вишерский».

Методы исследований. Поиск и изучение субаквальных карстовых источников проводились с применением специально разработанного комплекса методов. На начальном предполевом этапе проводился анализ топографических, геологических, гидрогеологических карт и космических снимков, в результате чего были выделены участки, перспективные для поиска субаквальных карстовых источников.

Полевые экспедиционные работы по поиску и исследованию субаквальных карстовых источников на территории заповедника «Вишерский» были проведены в июле 2018 г. Был обследован участок р. Вишеры от устья р. Ниолс до точки, расположенной в 2 км ниже по течению устья р. Лыпы, общей протяженностью около 46 км.

Поиск источников на перспективных участках проводился с применением метода терморезистивиметрии, который основан на различии температуры и минерализации поверхностных и разгружающихся подземных вод. Измерение расхода поверхностных водотоков и источников подземных вод проводилось с помощью поверенной гидрометрической вертушки. Для определения расхода субаквальных источников при необходимости применялись водобалансовые расчеты. Отбор проб воды осуществлялся в специально подготовленную тару.

Лабораторные исследования воды включали общий и микроэлементный анализ воды, выполненный в аккредитованных лабораториях Пермского университета.

Расход р.Вишеры, притоков и источников. Измерение расходов рек и источников подземных вод проводилось в период летней межени. Во время проведения измерений с 22 по 25 июня 2018 г. атмосферные осадки отсутствовали. Измеренные расходы рек и источников подземных вод приведены в таблице 1.

Таблица 1. Измеренные расходы рек и источников подземных вод (22-25.07.2018)

№ п/п	Место отбора проб	Расстояние от начальной точки, км	Расход, л/с
1	р.Вишера, в 4 км выше устья р.Лопья	0	3215
2	р. Лопья, устье	4,00	929
3	р. Вишера, выше р.Бобровая	6,96	5425
5	Группа родников р. Бобровая, устье	7,75	3114
6	Родник 2, на левом берегу р.Вишера в 900 м выше устья р.Муравей	11,15	829
7	Родник 3, на левом берегу р.Вишера в 450 м выше устья р.Муравей	11,35	298
8	Родник 4, на левом берегу р.Вишера в 200 м выше устья р.Муравей	11,35	188
10	Родник 5, на правом берегу р.Лыпы в 300 м от устья	39,34	434

В начале точке участка исследований, которая расположена выше по течению зоны выхода на поверхность закарстованных карбонатных пород, расход р. Вишеры составлял $3,2 \text{ м}^3/\text{с}$. В 4 км ниже в р. Вишеру впадает р. Лопья, расход которой в устье на период измерений составлял $0,9 \text{ м}^3/\text{с}$.

Таким образом, р. Лопья, которая на достаточно протяженном участке имеет только подземный сток, и химический состав воды которой формируется, в том числе, за счет растворения карбонатных горных пород, вносит почти 22 % в формирование расхода р. Вишеры.

Следующий крупный приток р. Вишеры – р. Бобровая, питание которой практически полностью осуществляется за счет многочисленных источников подземных вод, разгружающихся из субгоризонтальной трещины в скальном выходе карбонатных горных пород. Большую часть года трещина располагается ниже уреза воды р. Бобровой и разгрузка происходит субаквально. Расход р. Бобровой в устье составляет $3,1 \text{ м}^3/\text{с}$, а р. Вишеры до слияния – $5,4 \text{ м}^3/\text{с}$, таким образом вклад субаквальных карстовых источников в общий расход на данном участке составляет 36 %.

Ниже по течению р. Вишеры в формировании расхода воды участвуют несколько крупных карстовых источников в районе устья р. Муравей. Они разгружаются субаквально в образуемые ими карстовые озера, сток из которых поступает в р. Вишеру. Общий расход этих источников составляет $1,3 \text{ м}^3/\text{с}$. Еще один крупный субаквальный карстовый источник расположен в устье р. Сухая Лыпя, которая на большом участке имеет только подземный сток. Здесь разгрузка происходит со дна карстовой воронки, образуя озеро, вода из которого переливается в р. Лыпью с расходом $0,4 \text{ м}^3/\text{с}$ и в дальнейшем попадает в р. Вишеру.

Химический состав воды р. Вишеры, притоков и источников. Водородный показатель воды р. Вишеры в начальной точке исследованного участка (верховья р. Вишеры) имеет нейтральное значение. Ниже мест разгрузки субаквальных карстовых источников его значения повышаются до 7,6, а в конце участка – до 8,0 (рис.). Это связано с тем, что большую роль в формировании химического состава подземных вод закарстованных массивов играет растворение карбонатных пород, и вода субаквальных источников слабощелочная, со значениями pH 7,9-8,2.

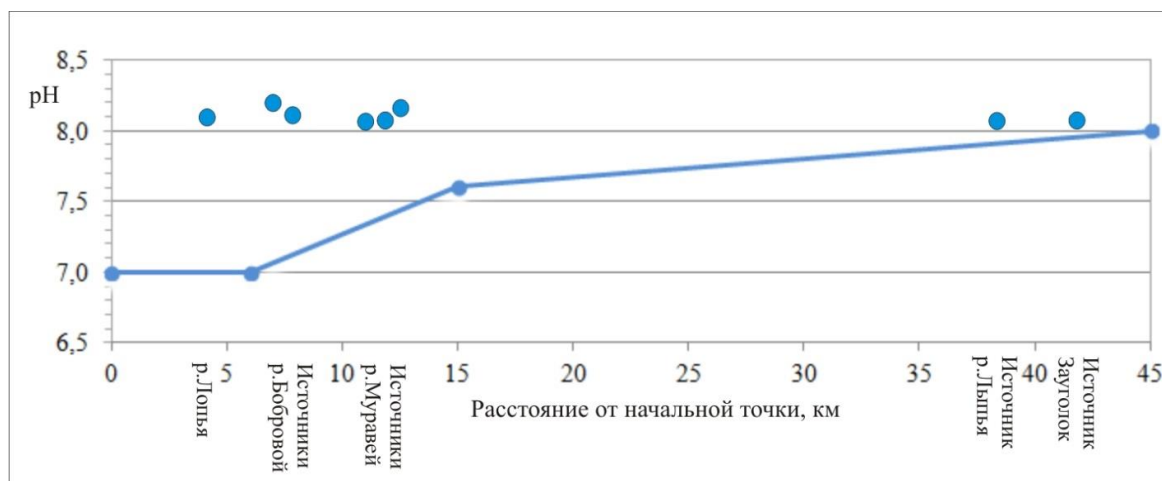


Рис. Водородный показатель воды рек и источников подземных вод (22-25.07.2018)

Вода р. Вишеры на протяжении всего участка наблюдений ультрапресная, с минерализацией менее 100 мг/дм³ (таблица 2). Состав воды гидрокарбонатно-кальциевый. Наблюдается постепенный рост минерализации воды от начала исследованного участка к его окончанию от 20 до 60 мг/дм³. Рост минерализации воды происходит в основном за счет повышения содержания гидрокарбонатного иона и иона кальция, в значительно меньшей степени его обуславливают повышение содержания сульфат-иона, ионов магния и натрия. Хлорид-ион и ион калия в ощутимом количестве появляются в воде р. Вишеры только ниже устья р. Лыпы, того места, где постоянно проживают люди. Температура воды р. Вишеры в начальной точке участка исследований составляла 16°С, что выше, чем на участках реки ниже разгрузки субаквальных карстовых источников.

Таблица 2. Химический состав воды р. Вишера (22-25.07.2018), мг/л

Место отбора	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Минерализация	pH	t °С
В 4 км выше устья р. Лопья	15,0	1,41	н/о	н/о	н/о	3,9	0,76	0,99	н/о	22,02	7,4	16
Выше устья р. Бобровая	33,8	1,52	н/о	н/о	н/о	8,4	1,06	0,70	н/о	45,46	7,0	13
Выше устья р. Мойва	45,8	1,72	н/о	0,17	н/о	12,8	1,26	0,66	н/о	62,41	7,6	14
Ниже устья р. Лыпы	42,8	2,03	3,2	0,28	н/о	12,9	1,43	1,99	2,3	66,98	8,0	14

Минерализация воды субаквальных карстовых источников выше минерализации речной воды и составляет 100-128 мг/л (таблица 3).

Таблица 3. Химический состав воды субаквальных источников (22-25.07.2018), мг/л

Место отбора	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Минерализация	pH	t, °С
Родник 1 в 400 м выше устья р.Бобровая	72,8	1,97	н/о	0,49	н/о	21,1	2,12	0,88	н/о	102,35	8,2	4
Группа родников р.Бобровая, устье	74,1	1,95	н/о	0,59	н/о	20,4	1,78	0,75	н/о	99,57	8,1	6
Родник 2 в 900 м выше устья р.Муравей	78,2	2,15	н/о	0,59	н/о	23,1	1,99	0,90	н/о	110,77	8,0	5
Родник 3 в 450 м выше устья р.Муравей	75,4	2,15	н/о	0,60	н/о	23,5	2,21	0,86	н/о	104,72	8,0	6
Родник 4 в 200 м выше устья р.Муравей	76,9	2,19	н/о	0,58	н/о	22,8	2,12	0,68	н/о	109,11	8,1	5
Родник 5 в 300 м выше устья р.Лыпы	91,7	5,36	н/о	0,50	н/о	25,8	3,65	0,66	н/о	127,67	7,9	5
Родник 6 в 900 м ниже устья р.Лыпы	88,6	3,43	н/о	0,23	н/о	27,0	2,36	0,65	н/о	122,27	7,9	5

Состав воды гидрокарбонатно-кальциевый, при чем HCO_3^- и Ca^{2+} составляют более 90 % общей минерализации. В небольших количествах присутствуют сульфаты, нитраты, ионы магния и натрия. Хлоридов и калия химическим анализом не обнаружено. Температура воды субаквальных карстовых источников составляет 4-6°C.

Таким образом, изучение свойств и состава подземных и поверхностных вод на 46-километровом участке в верховьях р. Вишеры показало, что мощная разгрузка субаквальных карстовых источников играет существенную роль в формировании расхода реки, составляющую для самых больших источников 22-36 %. Серьезная составляющая подземного питания реки приводит к снижению температуры речной воды, повышению ее pH до слабощелочных значений и увеличению минерализации за счет роста содержания гидрокарбонатного иона и иона кальция.

Полученные результаты не противоречат проведенным ранее исследованиям (Блинов, Батулин, Лавров, 2006; Батулин, Блинов, 2008; Блинов, Хмурчик, Лавров, 2006; Блинов, Лавров, Жаков, 2006; Санников, Бахарев, 2015), существенно дополняют и расширяют знания о гидрогеологических, гидрологических и гидрогеохимических особенностях территории заповедника «Вишерский».

Библиографический список

1. Максимович Г.А. Основы карстоведения. Пермь: Перм. ун-т. 1963. Т. 1.
2. Дублянский В.Н.; Дублянская Г.Н. Карстоведение. Пермь: Перм. ун-т., 2004, 308 с.
3. Блинов С.М., Лавров И.А., Тюрина И.М. Исследование субаквальных карстовых источников // Карстоведение – XXI век: Материалы межд. симп. / Пермь. Перм. ун-т. 2004. С.176-178.
4. Блинов С.М., Батулин Е.Н. Лавров И.А. Поиск и исследование субаквальных источников на территории Вишерского заповедника // Инновационный потенциал естественных наук: Труды Межд. научн. конф. Пермь. Перм. ун-т., 2006. С.49-53.
5. Блинов С.М., Лавров И.А., Шишкина А.С., Батулин Е.Н. Поиск и изучение субаквальных карстовых источников Пермского края // Геология и полезные ископаемые Западного Урала: сб. ст. по материалам регион. науч.-практ. конф. Пермь. Перм. ун-т., 2006. С. 242.
6. Абдуллин Ш.Р., Блинов С.М., Хмурчик В.Т., Щукова И.В. Комплексное исследование субаквальных карстовых источников заповедника «Вишерский». // Пермь. Вестник ПГУ., 2008. С.111-123.
7. Блинов С.М., Щукова И.В., Батулин Е.Н. Субаквальные карстовые источники Пермского Приуралья: основы классификации // Естественные и технические науки. 2010 № 6 (50). С. 287-291.
8. Блинов С.М., Лавров И.А., Батулин Е.Н. Изучение субаквальных карстовых источников: задачи, перспективы, методы // Геология и полезные ископаемые Западного Урала: материалы региональной научно-практической конференции. Пермь. 2005. С. 287-290.
9. Блинов С.М. К 100-летию геологического образования в Пермском университете // Геология и полезные ископаемые Западного Урала: материалы региональной научно-практической конференции. Пермь. 2016. № 16. С. 3-5.
10. Блинов С.М. Щукова И.В. Опыт исследования субаквальных карстовых источников и их классификации // Проблемы и задачи инженерно-строительных изысканий. Проблемы инженерной геологии карста урбанизированных территорий и водохранилищ: Тез. Докладов. Пермь. 2008. С.23-31.

11. Катаев В.Н., Блинов С.М., Лавров И.А., Шишкина А.С. Изучение субпотамической разгрузки подземных вод на территории г. Кунгура // Пермь. Вестник Пермского университета. 2007. № 4. С. 154-162
12. Батурин Е.Н., Блинов С.М. Результаты поисков и комплексных исследований субаквальных карстовых источников на территории Вишерского заповедника // Сергеевские чтения. Международный год планеты Земля: задачи геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии. Выпуск 10: Материалы годичной сессии Науч. совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии / М.: ГЕОС, 2008. С.289-293.
13. Блинов С.М., Хмурчик В.Т., Лавров И.А. Комплексные исследования субаквальных карстовых источников заповедника Вишерский // Гидрогеология и карстование: Межвуз. сб. науч. тр. Пермь. Перм. ун-т., 2006. Вып. 16. С. 117-131.
14. Ваганов С.С. Опыт поисков и исследования источников подземных вод карстовых массивов, разгружающихся со дна рек и озер // Естественные и технические науки издательство. М.: «Спутник+» № 11 (113), 2017, С. 64-65
15. Блинов С.М., Лавров И.А., Жаков В.Ф. Субаквальные карстовые источники заповедника «Вишерский» (предварительные результаты исследований) // Заповедник «Вишерский»: итоги и перспективы исследований (15 лет с основания). Науч. издание. Пермь: Изд-во Пермского ун-та, 2006 г. С.129-137.
16. Белкин П.А., Ваганов С.С. Результаты исследования зон субаквальной разгрузки подземных вод в верхнем течении р. Вишеры // Геология и полезные ископаемые Западного Урала. Пермь, 2016. № 16. С. 187-189.
17. Санников П.Ю., Бахарев П.Н. Использование прибора MULTI 350i для определения гидрохимических характеристик р. Вишеры. // Пермь. Географический вестник. 2015. № 1 (32). С. 81-88.

Т.Г. Ковалёва, А.И. Худорожкова
ПГНИУ, kovalevatg@mail.ru

МИНЕРАЛИЗАЦИЯ И МАКРОКОМПОНЕНТНЫЙ СОСТАВ ПОДЗЕМНЫХ ВОД ЗОНЫ АКТИВНОГО ВОДООБМЕНА ОБЛАСТИ ОСТРОВНОЙ МЕРЗЛОТЫ ЕРБОГАЧЕНСКОЙ РАВНИНЫ

В данной работе исследован химический состав подземных вод зоны активного водообмена территории Ербогаченской равнины, расположенной в области развития островной мерзлоты и активно подвергающейся техногенному воздействию в результате разработки месторождений нефти и газа. В ходе исследований установлено, что по результатам гидрохимического опробования внутримерзлотные воды на исследуемой территории имеют более низкую минерализацию и низкое содержание хлора, как маркера загрязнения.

Ключевые слова: минерализация, макрокомпонентный состав, зона активного водообмена, Ербогаченская равнина

MINERALIZATION AND MACROCOMPONENT COMPOSITION OF UNDERGROUND WATERS OF ACTIVE WATER EXCHANGE ZONE OF ISLAND FROST OF ERBOGACHEN PLAIN

The article contains studies of the mineralization and macro-component composition of underground waters of the active water exchange zone on the territory of the Yerbogachen Plain. The investigated area is located in the zone of island frost development. It has been found that the lowest mineralization and absence of chloride contamination is typical of intra-frozen waters.

Key words: mineralization, macrocomponent composition, active water exchange zone, Yerbogachen plain

На территории России область распространения многолетнемерзлых пород занимает, как известно, обширные территории (более 60%). Воздействие многолетнего промерзания и формирование криогенных водоупоров значительно отразилось на условиях питания, движения, разгрузки подземных вод, а также существенно изменилась их гидрохимическая зональность. Отличительной особенностью гидрогеологических условий в недрах структур криолитозоны является зависимость условий питания, транзита и разгрузки подземных вод от геотемпературного режима верхней части земной коры. Взаимодействие атмосферных, речных и подземных вод происходит только в таликовых зонах (Фотиев, 2013). В настоящее время под влиянием разнообразных факторов, как природных, так и антропогенных, во многих частях криолитозоны происходит деградация мерзлоты, расширение зоны развития таликов, которые формируются не только под влиянием отепляющего воздействия поверхностных вод, но и в результате других процессов.

В данной работе исследован химический состав подземных вод зоны активного водообмена территории Ербогаческой равнины, расположенной в области развития островной мерзлоты и активно подвергающейся техногенному освоению в связи разработкой месторождений нефти и газа. Исследование химического состава произведено по материалам многочисленных инженерно-геологических изысканий.

Исследуемая территория расположена 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 (Арутюнов и др, 1982; Голодковская и др., 1977). В геологическом строении приповерхностной части территории принимают участие главным образом элювиально-делювиальные глинистые и песчаные образования и юрские терригенные отложения, повсеместно перекрытые почвенно-растительным слоем. Согласно схеме гидрогеокриологического районирования территории России и сопредельных территорий (Фотиев, 2013) участок исследования относится к зоне прерывистого распространения

криогенных водоупоров. Район расположен на стыке Тунгусского, Ангара-Ленского и Якутского артезианских бассейнов, характеризуется широким распространением многолетнемерзлых грунтов, что оказывает большое влияние на условия залегания подземных вод. Водоносный комплекс современных четвертичных отложений распространен не повсеместно. Водовмещающими породами являются элювиально-делювиальные грунты. Питание этих вод осуществляется за счет поверхностных вод, атмосферных осадков и таяния мерзлоты. Разгрузка грунтового потока происходит в местную речную сеть.

В целом по району изысканий многолетняя мерзлота характеризуется прерывистым распространением. Мерзлые породы, преимущественно позднеолигоценного возраста, занимают большую часть площади и характеризуются достаточно большой толщиной (до 300 м), особенно в днищах долин. Толщина сезонно талого слоя колеблется от 0,5 до 3 метров. В долинах рек развиты сквозные и несквозные талики. Толща мерзлых грунтов залегает либо непосредственно под сезонно-талым слоем (мерзлота сливающего типа), либо на глубине (мерзлота несливающего типа). Мощность деятельного слоя и таликовых зон зависит от метеорологических факторов, мощности снежного покрова, времени года, геоморфологического положения и литологических разностей грунтов.

Температура мерзлых грунтов от 0,0°C до минус 4,1°C. По температурному состоянию они характеризуются как пластичномерзлые и твердомерзлые. Тип криогенных структур для глинистых отложений – слоистая, сетчатая, для песчаных – массивная, для торфов – атакситовая, для крупнообломочных и скальных – массивная.

Исследуемые пробы были разделены по типу залегания подземных вод, из которых они были отобраны: надмерзлотные, внутримерзлотные воды, воды сквозных и несквозных таликов, часть которых связана с крупными поверхностными водотоками. Величина выборки составляла порядка 50 проб.

Исследователи отмечают, что при промерзании водоносных пород происходит перераспределение соленого состава между образовавшимся льдом и жидкой фазой воды. Наиболее подвижные и легко растворимые соли уходят из зоны льдовыделения в непромерзшую часть гидрогеологического разреза, в которой минерализация воды увеличивается. (Бойцов, 2011) Воды преимущественно пресные, по химическому составу преобладает гидрокарбонатный кальциевый тип. По результатам химических анализов наименьшие значения минерализации (менее 0,2 г/дм³) отмечены в пробах вод, отобранных из надмерзлотных вод с малых глубин (0,1-0,5 м), а также из внутримерзлотных вод, тогда как наибольшие значения минерализации (до 1,2 г/дм³) зафиксированы в грунтовых водах таликовых зон, которые имеют наиболее тесную гидродинамическую связь с поверхностными атмосферными и речными водами.

Среди анионов в большинстве проб, как и в любых пресных водах в целом, преобладает HCO_3^- , его содержание изменяется от 97 мг/дм³ до 549 мг/дм³. По результатам анализов наименьшее содержание отмечено во внутримерзлотных водах (182-280 мг/дм³), а также в залегающих наиболее близко к поверхности надмерзлотных водах сезонно-талого слоя (97-121 мг/дм³). Наибольшее содержание HCO_3^- отмечено на глубинах от 0,5 до 2,8 метров. Большая часть этих проб отобрана с той глубины, которая является переходной зоной между зоной

аэрации и зоной полного насыщения, что обуславливает наиболее активное растворение солей, содержащихся в горных породах. Содержание гидрокарбонатов уменьшается на глубине ниже 2,7 метров.

Содержание аниона SO_4^{2-} во внутримерзлотных водах так же самое низкое среди всех отобранных проб (5-9 мг/дм³). Среднее содержание в надмерзлотных водах 24 мг/дм³. В зоне распространения таликов содержание SO_4^{2-} в среднем колеблется в пределах 30-40 мг/дм³ и лишь в нескольких пробах превышает 80 мг/дм³.

Четкая зависимость содержания хлора от условий залегания не прослеживается, так как в данном случае на содержание хлора влияют преимущественно техногенные факторы. На нефтегазоконденсатных месторождениях набор поверхностных источников загрязнения включает в основном поисково-разведочные, эксплуатационные и нагнетательные скважины, растворные узлы, шламовые и нефтяные амбары, гидроизоляция которых на многих месторождениях не производится. Кроме того, известны загрязняющие вещества - хлоридные рассолы, различные химические реагенты, нефть, метанол, сернокислый алюминий и другие (Шенькман. 2014). Хлоридное загрязнение имеет место не во всех скважинах. Степень загрязнения зависит от близости к непосредственным источникам загрязнения. Но в целом наиболее явно оно прослеживается в надмерзлотных водах с небольшими глубинами залегания.

Среди катионов преобладает Ca^{2+} , его содержание колеблется от 26 до 172 мг/дм³. Наименьшее содержание отмечено во внутримерзлотных водах, а также в надмерзлотных водах, залегающих близко к дневной поверхности. Самое высокое содержание катиона кальция (около 100 мг/дм³) характерно для зоны распространения таликов.

Зависимость содержания магния от условий залегания подземных вод не отмечена, в основном распределение катиона Mg^{2+} в целом достаточно равномерно во всех типах вод. Зависимость содержания калия и натрия от залегания водоносного горизонта относительно многолетнемерзлой толщи также явно не прослеживается. Однако наблюдается следующая зависимость: наиболее высокое содержание Na^+ и K^+ отмечено в тех же скважинах, в которых было встречено повышенное содержание хлора.

Таким образом в ходе исследований установлено, что по результатам гидрохимического опробования внутримерзлотные воды на исследуемой территории имеют более низкую минерализацию и низкое содержание хлора, как маркера загрязнения. Отчасти это можно объяснить тем, что внутримерзлотные воды практически не имеют гидравлической связи с другими водоносными горизонтами и поверхностными водами, из-за чего становятся более-менее изолированной системой, в которую не поступают загрязнения с поверхности. Это объясняет пониженное содержание Cl^- , появление которого связано с разработкой нефтегазовых месторождений. Кроме того, водовмещающие породы не склонны к процессам химической суффозии или карсту, в связи с чем отсутствует переход легкорастворимых солей из породы в подземные воды. Полученные данные следует подкреплять дальнейшими исследованиями, поскольку величина исследованной выборки невелика.

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. Бойцов А. В. Геокриология и подземные воды криолитозоны: учебное пособие. – Тюмень: ТюмГНГУ, 2011 – 178 с.
4. Шенькман Б. М.. Зона свободного водообмена Верхнечонского нефтегазоконденсатного месторождения в начале этапа промышленной эксплуатации. // Известия Иркутского государственного университета. Серия Науки о Земле, 2014. Т. 7. С. 129–144.
5. Фотиев С.М. Подземные воды криогенной области России (классификация) // Криосфера земли, 2013, т. XVII, №2, С. 41-49.

М.И. Красносельских, И.Г. Ермолович
ПГНИУ, Krasnos97@gmail.com, Ermol@psu.ru

СОВРЕМЕННЫЙ МАКРОКОМПОНЕНТНЫЙ И МИКРОКОМПОНЕНТНЫЙ СОСТАВ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД И СНЕГОВОГО ПОКРОВА НА ТЕРРИТОРИИ ГОСУДАРСТВЕННОГО ЗАПОВЕДНИКА «БАСЕГИ»

Приведены результаты оценки химического состава поверхностных и талых снеговых вод на территории государственного заповедника «Басеги», полученных автором в результате исследования с 2017 по 2019 годы. Исследования включали определение фациального состава, показателя pH, минерализации и технофильных элементов 1, 2 и 3 классов опасности. Дана оценка аэротехногенной нагрузки на охраняемые экосистемы заповедника. Особое внимание уделяется исследованиям, проведенным в ноябре 2019 года.

Ключевые слова: гидрохимия, региональное рассеивание, фоновый уровень, техногенная нагрузка.

M.I. Krasnoselskikh, I.G. Ermolovich
Perm State University, Krasnos97@gmail.com, Ermol@psu.ru

MODERN MACRO-COMPONENT AND MICRO-COMPONENT COMPOSITION OF SURFACE WATERS AND SNOW COVER IN THE TERRITORY OF THE BASEGI STATE RESERVE

The results of the assessment of the chemical composition of surface and thawed snow water in the territory of the Basegi state reserve, obtained by the author as a result of research from 2017 to 2019. Studies included the determination of facies composition, pH, mineralization, and technophilic elements of types 1, 2, and 3 of hazard classes. The aerotechnogenic load on the protected ecosystems of the reserve is estimated. Particular attention is paid to studies conducted in November 2019.

Key words: hydrochemistry, regional dispersion, background level, technogenic load.

Сегодня все меньше остается территорий, где сохранилась дикая природа, поэтому необходимо тщательно отслеживать состояние природной среды и оперативно реагировать на любое значительное изменение её компонентов. Экологические системы малых рек уязвимы, они формируются под влиянием множества факторов и в настоящий момент определяются степенью техногенеза, а поверхностные воды и снежный покров являются надежными индикаторами атмосферной нагрузки на природные экосистемы.

На первом этапе работ были отобраны 9 проб воды следующих рек: Малый Басег, Неустроевка, Большой Басег, Большая Порожня, Сохатка, а также нескольких ручьев у склона г. Северный Басег в период с 20.09.2017 по 22.09.2017.

Общие гидрохимические показатели проб свидетельствуют о том, что в составе поверхностных вод выделяются 2 гидрохимические фации (Максимович, 1955): $\text{SO}_4\text{-K-Mg}$ и $\text{HCO}_3\text{-SO}_4\text{-Ca}$. Все исследуемые воды являются весьма пресными с минерализацией от 5,6 мг/дм³ до 37,2 мг/дм³, мягкими и по величине pH имеют показатели от 4,15 до 7,65. Воды преимущественно нейтральные, местами кислые (ОСТ 41-05-263-86). Это, предположительно, связано с зоной кислых почв, на которых произведен отбор.

Следующий анализ проб поверхностных вод был проведен с 10.08.2018 по 15.08.2018. Исследованию подверглись 12 проб вод таких рек, как: Порожня, Малый Басег, Неустроевка, Большой Басег, а также несколько родников вблизи г. Северный Басег и ручьев г. Басежата и г. Средний Басег.

В составе этих вод выделяются 3 гидрохимические фации: $\text{HCO}_3\text{-SO}_4\text{-Ca}$, $\text{HCO}_3\text{-Ca-Mg}$ и $\text{SO}_4\text{-Ca-Na}$. Исследуемые воды весьма пресные с минерализацией от 6,22 мг/дм³ до 109,57 мг/дм³. По величине pH нейтральные, местами слабокислые, имеют показатели от 5,7 до 7,7.

Отбор проб в 2018 году проводили в тех же местах, что и в 2017 году для их удобного сравнения. Практически везде произошло возрастание минерализации, а также изменилась величина pH и воды перешли из кислых в нейтральные. По химическому составу все воды являются преимущественно $\text{HCO}_3\text{-Ca}$, что является фоновой нормой для рассматриваемого региона.

С 2018 года ПГНИУ возобновил отбор снеговых проб на исследование макро- и микрокомпонентного состава на территории заповедника. Полученные результаты были соотнесены с нормативами ПДК (ГН 2.1.5.1315-03, ОСТ 41-05-263-86, СанПиН 2.1.4.1074-01, СанПиН 2.1.4.1116-02).

Первый отбор 6 снеговых проб проводился в период максимального снегонакопления с 19.03.2018 по 21.03.2018 на склонах гор Северный Басег и Южный Басег на всю мощность снеговой толщи. Показатели нагрузки рассчитаны по результатам общего гидрохимического и микроэлементного анализов с учетом снегонакопления и годового количества атмосферных осадков (Геохимия..., 1990). Рассматривая макрокомпонентный состав талых снеговых вод, можно сделать вывод о том, что фациальный состав повсеместно одинаковый – $\text{HCO}_3\text{-SO}_4\text{-Ca}$. По минерализации все талые воды являются весьма пресными и имеют

значения от 11,74 до 24,16 мг/дм³. Они относятся к нейтральным водам, имея значения водородного показателя рН от 6,07 до 6,95.

Следующий отбор 4 снеговых проб был произведен в период с 27.03.2019 по 29.03.2019 на склонах г. Северный Басег. По минерализации талые воды весьма пресные и имеют значения от 2,47 до 11,95 мг/дм³, водородный показатель рН от 5,82 до 6,24, относятся к слабокислым и нейтральным водам.

В связи с очень маленькими значениями микрокомпонентов в воде было принято решение пересчитать показатели из мг/дм³ в г/га и из мкг/дм³ в г/га – рассчитать массу атмосферного выпадения элемента в год (Методические рекомендации..., 2011). Данный показатель получен расчетным путем с использованием данных Ю.А. Саеда с соавторами (Геохимия..., 1990) о среднем для европейской территории России содержании рассматриваемых элементов в атмосферной пыли (Бахарев П.Н., Ворончихина Е.А., Лоскутова Н.М., Наумкин Д.В.).

Полученные результаты сведены в таблицы (табл.1, табл.2), оформленные по образцу результатов 2015 года, собранных в отчет Ворончихиной Е.А. для сборника «Летописи природы заповедника «Басеги» (Ворончихина, 2015). Для рассмотрения были взяты элементы, относящиеся к 1 и 2-3 классам опасности, которые можно сравнить с результатами 2015 года.

Таблица 1 – Результаты гидрохимических исследований природной воды ГПЗ «Басеги» и их ПДК (по состоянию на ноябрь 2019 г.)

Наименование показателей	Шифр пробы 708-19, родник у научного стационара	Шифр пробы 709-19, р. Неустроевка, среднее течение	Шифр пробы 710-19, р. Малый Басег, среднее течение	Шифр пробы 711-19, р. Большой Басег, среднее течение	ПДК
		Мг/дм ³		мг/дм ³	
Литий	-	0,0013	0,0011	0,0013	0,03
Алюминий	-	0,301	0,276	0,398	0,5
Ванадий	-	-	-	0,0013	0,1
Хром	-	0,0011	-	0,0013	0,5
Марганец	-	-	0,0054	-	0,1
Никель	-	0,0014	0,0014	0,0015	0,1
Цинк	0,0014	-	-	-	5
Селен	0,012	0,013	0,011	0,011	0,01
Рубидий	0,00075	0,00094	0,00079	0,00087	0,1
Стронций	0,062	0,02	0,021	0,018	7
Цирконий	-	0,00041	0,00031	0,0007	0,006
Серебро	-	0,009	0,014	0,0051	0,05
Барий	0,049	0,014	0,012	0,014	0,1
Гафний	0,00011	-	-	-	-

Таблица 2 – Аэротехногенное давление на экосистемы ГПЗ «Басеги» (по состоянию на ноябрь 2019г.)

№ пп	Принадлежность пробы	Масса атмосферного выпадения технофильных элементов, г/га в год												
		I класс опасности						2-3 классы опасности						Всего
		As	Cd	Pb	Zn	Hg	Итого	Cr	Ni	Cu	Sb	Mn	V	
708-19	Родник у научного стационара	<1	<0,5	<0,2	10,108	-	10,108	<1	<1	<1	<0,2	<3,0	<1	0
709-19	Р. Неустроевка, среднее течение	<1	<0,5	<0,2	<1	-	0	7,942	10,108	<1	<0,2	<3,0	<1	18,05
710-19	Р. Малый Басег, среднее течение	<1	<0,5	<0,2	<1	-	0	<1	10,108	<1	<0,2	38,988	<1	49,096
711-19	Р. Большой Басег, среднее течение	<1	<0,5	<0,2	<1	-	0	9,386	10,83	<1	<0,2	<3,0	<1	20,216
Среднее для ГПЗ «Басеги» в ноябре 2019 г		-	-	-	10,108		10,108	8,664	10,35	-	-	38,988	-	29,12
Среднее для ГПЗ «Басеги» в марте 2019 г		-	-	1,397	30,25	-	31,647	-	2,8	1,85	-	6,275	-	42,572
Среднее для ГПЗ «Басеги» в 2015 г		7,27	1,48	20,07	84,52	0,71	114,05	16,41	2,98	10,37	1,33	49,94	4,19	199,27
Разница ноябрь 2019 к марту 2019 г.		-	-	-1,397	-20,142	-	-21,539	+8,664	+7,55	-1,85	-	+32,71 3	-	-13,45
Региональный фоновый уровень рассеивания элементов		7,71	0,31	23,92	50,23	0,00	82,17	56,21	34,09	17,94	1,81	310,96	29,90	533,08

Особенностью микрокомпонентного состава талых снеговых вод является наличие несистематического загрязнения снежного покрова тяжелыми металлами. В 2015 и 2018 году кадмий и цинк, хоть и незначительно, но превышали фоновый уровень рассеивания. В 2018 году норму также превысили никель и сурьма. Можно предположить, что один из близлежащих заводов выбросил пары токсичных газов в воздух, изменив биологическую обстановку. Также это связано с разработками месторождений калийных солей на северо-западе от территории заповедника и организацией шламохранилищ. К марту 2019 года наблюдается восстановление среды, ни один из показателей не превысил региональный фоновый уровень рассеивания. Нормализация обстановки, предположительно, связана с консервацией нескольких шламохранилищ.

Последние данные по заповеднику «Басеги» собраны 06.11.2019-07.11.2019. Природные воды Малого Басега, Большого Басега, Неустроевки, а также родника у научного стационара прошли испытания на микрокомпонентный состав. Состав и уровень аэрогенной нагрузки иллюстрирует табл.2.

Из таблицы 1 видно, что ни один из показателей не превышает ПДК, селен находится на границе нормы. Из таблицы 2 становится ясно, что с момента предыдущих исследований незначительно выросло содержание никеля и хрома, выросло содержание марганца и полностью исчезла медь.

При этом ни один из показателей не превышает регионального фонового уровня рассеивания элементов и объемы рассеивания данных элементов оказались ниже уровня марта 2015 – марта 2019 годов. Данный факт косвенным образом свидетельствует о некотором атмохимическом воздействии на данную территорию производственных объектов, вероятнее всего относящихся к добыче и обогащению солей Верхнекамского месторождения в г. Березниках и г. Соликамске.

Таким образом, по итогам текущих наблюдений можно заключить, что, несмотря на сохранение тенденции снижения аэрогенной химической нагрузки на особо охраняемую экосистему и положительные изменения относительно предыдущего года, техногенное рассеивание химических элементов 1, 2 и 3 классов экологической опасности в заповеднике «Басеги» в 2019 году имело место. Предположительно, загрязнение исходит от близко располагающихся к заповеднику заводов и разработок месторождения калийных солей, сотрудники которых не всегда следят за тщательным выполнением требований охраны окружающей среды. Хотя показатели незначительно превышают норму, необходимо проводить постоянный мониторинг состояния как снегового покрова, так и поверхностных и подземных вод.

Библиографический список:

1. Бахарев П.Н., Ворончихина Е.А., Лоскутова Н.М., Наумкин Д.В. К оценке аэротехногенной нагрузки на особо охраняемые экосистемы Пермского края // Природа Басег: 30 лет охраны и научных исследований. Сб.ст., посвященный 30-летию заповедника "Басеги". Пермь, 2012. С. 175-185.
2. Ворончихина Е.А. Отчет об атмохимической нагрузке на охраняемые экосистемы ГПЗ «БАСЕГИ» за 2014/2015 гг // Архивные материалы государственного заповедника «Басеги». Гремячинск, 2015.

3. *Геохимия окружающей среды* / Ю. Е. Сает, Б. А. Ревич, Е. П. Яншин и др. М.: Недра, 1990. – 335 с.
4. *ГН 2.1.5.1315-03 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования»*
5. *Максимович Г.А.* Химическая география вод суши. – М.: Государственное издательство географической литературы, 1955. – 328 с.
6. *Методические рекомендации по оценке степени загрязнения атмосферного воздуха населенных пунктов металлами по их содержанию в снежном покрове и почве* / Б.А. Ревич, Ю.Е. Сает, Р.С. Смирнова / Утв. Главным государственным санитарным врачом 15 мая 1990 г. N 5174-90. Текст документа на 01.07.2011 г.
7. *ОСТ 41-05-263-86 «Воды подземные. Классификация по химическому составу и температуре»*
8. *СанПиН 2.1.4.1074-01 "Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. Гигиенические требования к обеспечению безопасности систем горячего водоснабжения"* (с изменениями на 2 апреля 2018 года)
9. *СанПиН 2.1.4.1116-02 "Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды, расфасованной в емкости. Контроль качества"*
10. *Химический состав атмосферных осадков (Урал и Приуралье) [Текст]* / Л.Е. Черняева, А.М. Черняев, А.К. Могиленских. - Л.: Гидрометеиздат, 1978. – 179 с.

Е.А. Ерофеев, В.Н. Катаев

ПГНИУ, Пермь, erofeev-ea@yandex.ru, kataev@psu.ru

РЕГИОНАЛЬНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАЗВИТИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ КАРСТОВЫХ ФОРМ ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ПЕРМСКОГО КРАЯ

В работе представлены результаты исследований влияния региональных геологических факторов на развитие поверхностных карстовых форм.

Ключевые слова: карстовые формы, геологические факторы, пространственный анализ, математическая оценка, карстовые районы.

E.A. Erofeev, V.N. Kataev

Perm state University, Perm, erofeev-ea@yandex.ru, kataev@psu.ru

REGIONAL PATTERNS OF DEVELOPMENT OF SURFACE KARST FORMS IN THE SOUTH-EASTERN PART OF THE PERM REGION

This paper presents the results of research on the influence of regional geological factors on the development of surface karst forms.

Keywords: karst forms, geological factors, spatial analysis, mathematical estimation, karst areas

Выявление региональных закономерностей развития поверхностных карстовых форм выполнено при помощи пространственного анализа геолого-географических данных.

В основу анализа положены материалы оценочного карстологического дешифрирования крупномасштабных космофотоснимков (КФС) территорий карстовых районов восточной окраины Восточно-Европейской платформы и прилегающих частей Предуральяского прогиба. Методика и результаты карстологического дешифрирования подробно изложены в работах (Ерофеев, Катаев, 2017, 2019; Erofeev, Kataev, 2018).

Основные пространственные структурно-тектонические, геологические и общегеографические данные, отражающие характер и особенности геологического строения верхней части разреза составлены по материалам различных среднемасштабных геолого-съёмочных и сейсморазведочных работ (Беляев, Еремина, 1971; Бобров, Оскотский 1966; Иконников, 1972; Мошковский, 1972, 1973), а также с привлечением материалов радарной топографической съёмки (SRTM).

Методика выполняемых исследований, последовательность математических расчетов и картографических построений подробно раскрыта в работе (Ерофеев, Катаев, 2010). Основным инструментом послужил программно-аналитический ресурс геоинформационной платформы ARC GIS, математический аппарат и положения вероятностно-статистической теории оценки карстовой опасности (Толмачев, Троицкий, Хоменко, 1986).

Краткая характеристика геологического строения территории исследований. Закономерности геологического строения территории обусловлены ее расположением в зоне сочленения Восточно-Европейской платформы и Предуральяского краевого прогиба. Основу тектоники определяют крупные тектонические структуры I порядка: Пермско-Башкирский свод и Юрюзанно-Сылвенская депрессия, занимающая смежную часть Предуральяского краевого прогиба (рис. 1).

Сложившиеся геолого-гидрогеологические обстановки развития карста исторически уверенно контролируются структурно-тектоническими условиями территории, выражающимися, в частности, в закономерностях распределения мощностей литолого-стратиграфических подразделений в плане, разноуровневой системе дислокаций, осложняющих геологический разрез и неотектоническом режиме.

Основные черты геологического строения региона отражает структурно-тектонический план по нижнепермским отложениям. Так по кровле карбонатной части артинского яруса (P_{1a}) уверенно выделяются: крупный Кунгуро-Уфимский выступ (или Уфимское плато), Веслянско-Мазунинский вал, прослеживающийся вдоль западной границы Уфимской брахиантиклинали, Уфимский вал, выделяемый вдоль восточной границы ПБС, а также целый блок различных мелких структур и поднятий.

Верхняя часть разреза, представлена отложениями пермской системы, которые в границах платформенной части и Предуральяского прогиба имеют повсеместное распространение. Вытянутые в меридиональном направлении они обнажаются на дневной в виде длинных узких полос и последовательно – от более молодых к древним, сменяют друг друга в восточном направлении.

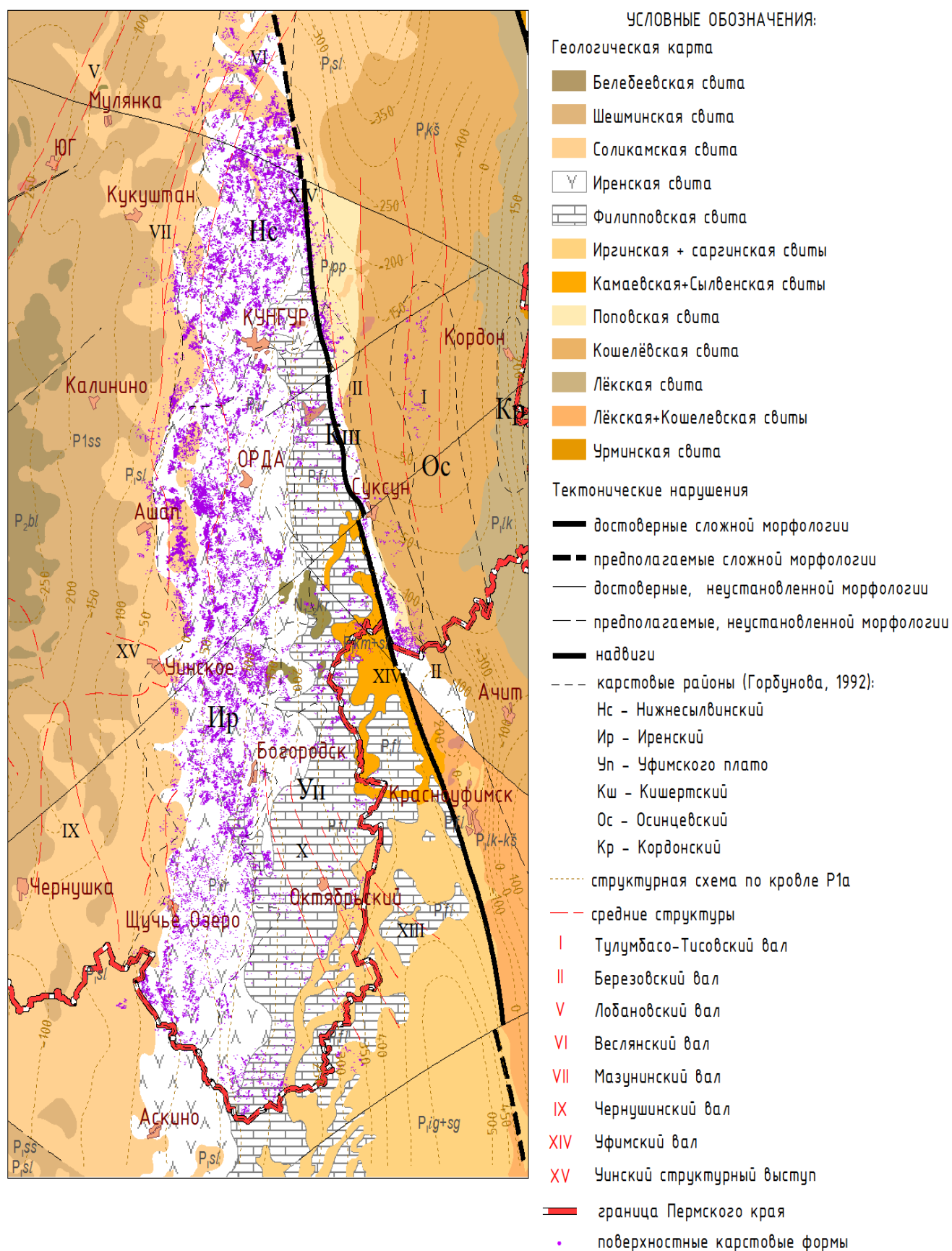


Рис. 1 Фрагмент геологической карты Пермского края масштаба 1:1 000 000
 Электронная основа: Информационные ресурсы. Всероссийский научно-исследовательский
 геологический институт им. А.П. Карпинского.

Геолого-структурные условия – платформенные, карст относится к голому, задернованному, на значительных площадях к подэлювиальному, в долинах рек к подаллювиальному, и к закрытому – под соликамскими (некарстующимися) породами, карстовые формы – самые разнообразные: воронки, провалы, поноры, пещеры, карстовые лога, локальные понижения и пр. Наиболее распространенными на земной поверхности являются – воронки и провалы. Обще статистические показатели закарстованности территорий карстовых районов содержит табл. 1 (Ерофеев, Катаев, 2017; Erofeev, Kataev, 2018).

Таблица 1. Общие статистические показатели дешифрирования территории

Название района	Всего форм, шт	Точечные объекты, шт	Полигональные объекты,
Кишертский	1954	648	1306
Иренский	39016	21973	17043
Нижнесылвин-	22704	7830	14874
Уфимского плато	4484	3232	1252
Осинцевский	297	150	147
Всего	68455	33833	34622

Закарстованность территории чрезвычайно неравномерная, плотность поверхностных карстовых форм варьирует в широких пределах, от 1-10 на границе иренских и соликамских отложений до 660 шт/км² в местах, где карстующиеся горные породы прикрыты лишь тонким чехлом рыхлых покровных отложений.

Карстующиеся породы, представленные гипсами и ангидритами иренского горизонта с подчиненными прослоями известняков, в меньшей степени доломитами филипповского горизонта и известняками артинского яруса.

Местами карстуются плитчатые известняки соликамского горизонта. Наиболее закарстованными являются: различные куполообразные поднятия, осложняющие более крупные тектонические структуры, там где сульфатно-карбонатные породы обнажаются на дневной поверхности, или покрыты тонким чехлом рыхлых проницаемых или слабопроницаемых отложений; моноклинально залегающие толщи, сложенные карстующимися пачками различного состава, что сопровождается разнообразием подземных пустот, различных форм и размеров и форм, обусловленных изменением направлений и глубиной циркуляции карстовых вод и т.п. (Горбунова и др.1994; Лукин В.С., Ежов,1975).

В плане, массив растворимых карбонатно-сульфатных пород локализуется в виде широкой, меридионально вытянутой полосы, протягивающейся от ст. Бартым до широты г. Перми и обнажающейся на дневной поверхности (рис. 1). В западной и северо-западной части они перекрыты чехлом терригенно-карбонатных отложений уфимского яруса, а на востоке замещаются песчано-алевролитовой и глинисто-аргиллитовой толщей «терригенного кунгура». Значительная по своим размерам площадь распространения карбонат-

но-сульфатных пород кунгурского возраста, обусловила масштабное развитие (протекание) карстовых процессов на территории Пермского края.

Полный разрез иренской свиты представляет собой ритмичное чередование карбонатно-сульфатных пачек (Горбунова и др.1994), суммарная мощность которых изменяется от 120 до 180 м. В местах выхода ее на поверхность развита ольховская брекчия.

На западном борту Предуралья карбонатно-сульфатный разрез иренской свиты замещается мергелями, глинами и алевролитами с прослоями и линзами гипсов, ангидритов и каменной соли поповской свиты, развитой на западном борту ЮСД, где она протянулась широкой полосой, сужающейся на широте г. Кунгура. Восточнее она сменяется кошелевской свитой песчаников, алевролитов, аргиллитов и ангидритов.

Отложения *филипповского горизонта* залегают на артинских известняках и согласно перекрываются ледяно-пещерской пачкой. Карбонатный разрез филипповской свиты представлен доломитами, реже доломитизированными известняками. Вся толща сильно трещиновата, ее полная мощность достигает 80-90 м (Бобров, Оскотский 1966). Стратотипом является разрез обнажений и карьеров правобережья р. Сылва у с. Филипповского, где свита расчленяется на три пачки: петропавловскую - известняков и доломитов; усть-каменскую - доломитов; михинскую - бугорчатых известняков.

Филипповская в восточном направлении замещается карнауховской доломит-ангидритовой и лекской сульфатно-обломочной. Ее фациальный состав сильно изменчив: в основании залегают ангидриты и -ангидритизированные обломочные породы (Горбунова и др.1994, Иконников, 1972).

Разрез артинского яруса подразделяют на саргинский, иргинский и бурцевский горизонты (Бобров, Оскотский 1966). Стратотипом саргинского являются сменяющие друг друга в восточном направлении карбонатная саргинская, глинисто-терригенная дивья и песчано-алевролитовая уржумские свиты, а также подстилающая кайманская свита, кремнистых и глинистых известняков.

В западном направлении сульфатно-карбонатные отложения кунгурского яруса перекрываются карбонатно-терригенными породами соликамского горизонта и пестроцветной толщей шешминского горизонтов.

Покровные четвертичные отложения представлены отложениями различных генетических видов, из которых наиболее развиты аллювиально-делювиальные суглинистые, песчано-глинистые и песчано-гравийно-галечниковые, мощность которых колеблется от 4-5 до 40 м (Горбунова и др.1994; Лукин, Ежов, 1975).

Методика и результаты исследований. В основу картографических построений работы положены методические принципы, основанные на следующих аспектах: вероятность образования карстовых провалов (провальных поверхностных форм) контролируется влиянием многочисленных природных факторов, где роль каждого отдельно взятого фактора может проявляется в

виде определенной тенденции, которая может быть выражена количественно системой коэффициентов связи Q_i (Толмачев, Троицкий, Хоменко, 1986).

Градация Q_i (-1...+1), отражает вероятность возникновения провалов: от -1, когда образование провалов при i -м признаке исследуемого фактора - невозможно, до +1, наоборот, возникновение провальных форм возможно только при i -м признаке.

Технически, анализ пространственных геолого-географических данных реализован в среде ARC GIS. Настройки проекта WGS 1984 UTM Zone 40N, проекция Transverse Mercator. Привязка исходных картографических (растровых) данных и их последующая оцифровка выполнялась по топографической основе пакета электронных карт Генштаба РФ и ВСЕГЕИ. Основу пространственного анализа составил комплект элементарных карт, построенных (или оцифрованных) по материалам различных среднемасштабных площадных геолого-геофизических работ, выполненных на территории Пермского региона.

Площадь исследований, в пределах которой выполнялись графо-аналитические построения оконтурена общей границей (Горбунова и др. 1994), объединяющей Нижнесылвинский, Иренский и карстовый район Уфимского плато. Дифференциация оцениваемых факторов, выполнена по 4 признакам.

Анализ геологических и структурно-тектонических факторов

В основу исследований положен комплекс факторов, обеспеченных кондиционными материалами, а именно: структурная карта кровли артинского яруса, построенная по промыслово-геофизическим данным (Геологическая, 1953; Схематическая 1966); структурная карта подошвы иренского горизонта (Ларионова, 1949), составленная по материалам структурного бурения. По этим же материалам, авторами были построены карта мощности покровных некарстующихся отложений и структурная поверхность кровли карстующихся пород кунгурского яруса (Kg_{ir+fl}). Мощность филипповского горизонта рассчитана оценочно, по разности отметок иренских и артинских отложений.

В результате выполнения картографических построений и статистических расчетов получены следующие выводы (рис. 2)

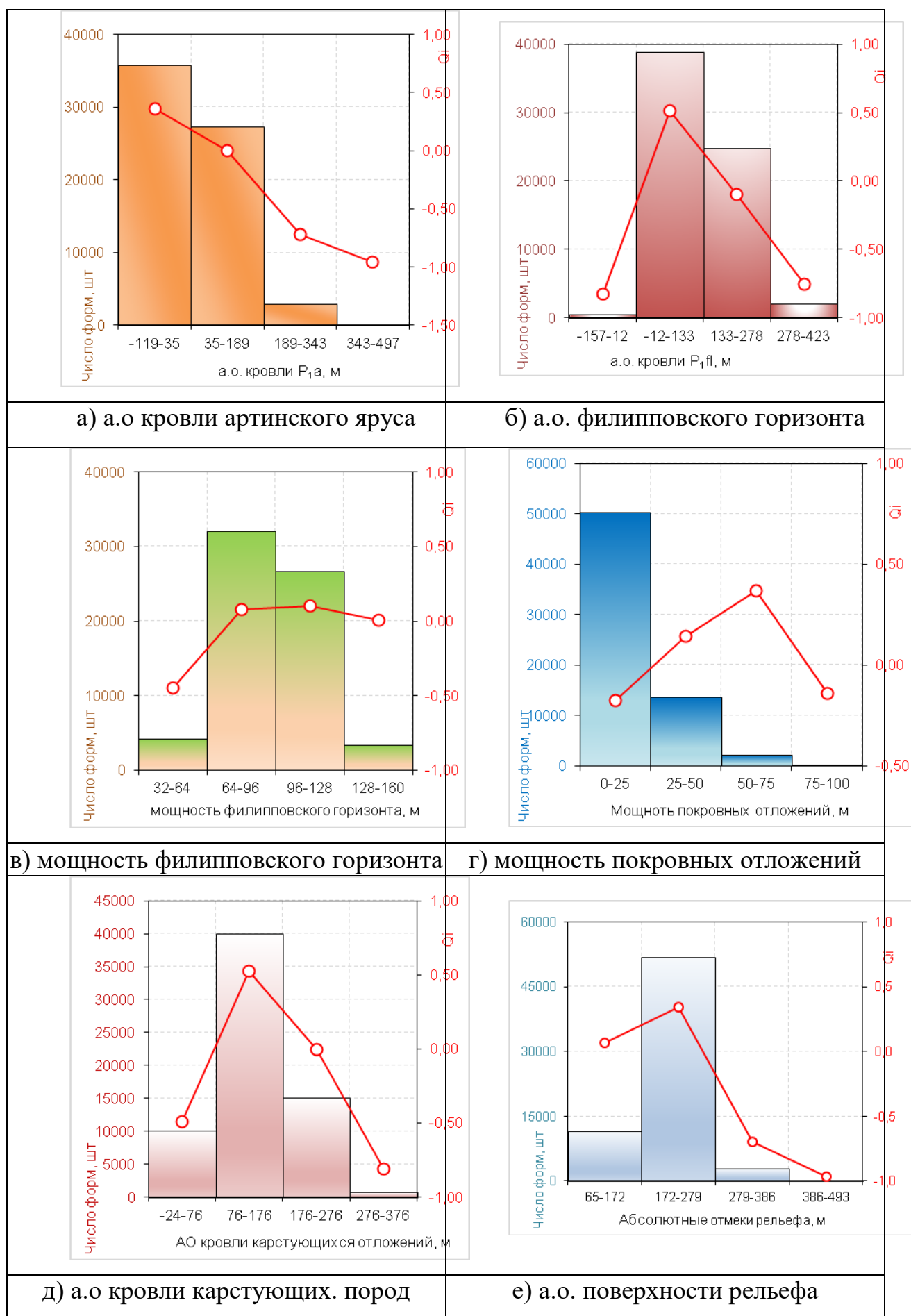


Рис. 2 Графики изменения коэффициентов связи (Q_i)

Фактор *«структурная поверхность артинского яруса»* по своим показателям (силе и характеру влияния) оценивается как контролирующий, на базе которого сформировались основные природные обстановки развития карста. В пределах территории исследований, оконтуренной границей распространения карстующихся пород, проявляется уверенная тенденция снижения общего числа карстовых форм по мере повышения структурной поверхности. Минимальные отметки соответствуют площади развития сульфатных пород, максимальные территории Уфимского плато (рис. 2а).

Фактор *«структурная поверхность филипповского горизонта»* по характеру своего влияния тождественен фактору *«кровля карстующихся отложений»* - с повышением кровли поверхности, общая закарстованность территории резко понижается. Минимальная закарстованность соответствует наиболее погруженным участкам, расположенным на западной границе территории, где буровыми скважинами вскрыт полный разрез иренского горизонта (представленный всеми семью пачками), в восточной части, соответствующей западному борту Юрюзано-Сылвенской депрессии, а также приподнятому массиву Уфимского плато. Максимальная закарстованность соответствует выровненной поверхности речных долин и междуречных пространств рек Сылва, Ирень, Шаква, Бабка и др (рис. 2б).

Фактор *«мощность филипповского горизонта»*. Фактора отражает тенденцию увеличение числа поверхностных форм с ростом мощности горизонта. С одной стороны фактор демонстрирует достаточно уверенную закономерность и относительно высокий коэффициент связи (рис. 2в), с другой стороны анализ величин энтропии указывает на ее практически ее равные значения по трем последним признакам. Иначе говоря, выявленная тенденция, обусловлена преимущественным влиянием первого признака, отражающего характер поверхностной закарстованности филипповского горизонта в местах его выхода на поверхность (инт. 32-64). В остальных случаях он перекрыт сульфатной толщей иренского горизонта.

Фактор *«мощность покровных отложений»* показывает четкую и явно выраженную тенденцию роста числа карстовых форм по мере увеличения мощности, перекрывающей толщи. С превышением мощности некарстующих отложений средней отметки в 60 м, плотность форм (рис. 2г). Ввиду того, что территория исследований представляет собой выровненную денудационную равнину, верхняя часть разреза которой сформирована достаточной однородной, выдержанной песчано-глинистой толщей, в региональном отношении оцениваемый фактор не имеет существенного веса.

Фактор *«поверхность кровли карстующихся пород»* отчасти дублирует фактор абсолютные отметки рельефа. Выделяемая тенденция снижения числа карстовых форм с повышением абсолютных отметок, совпадает с *«этажностью рельефа»* (2д-е).

Фактор *«абсолютные отметки поверхности рельефа»* отражает закономерности распределения карстовых форм в зависимости от превышения над уровнем местного базиса эрозии.

Наиболее закарстованные участки соответствуют склонам речных долин магистральных рек (65–172 м) и площадям (водораздельным пространствам) развития сульфатного карста (172–279 м). В восточном направлении поверхность плавно повышается и сульфатный разрез Иренского карстового района сменяется карбонатно-сульфатным разрезом Уфимского плато (279–386 м). Смена «этажности» сопровождается резким снижением интенсивности (числа) поверхностных форм. Для участков с абсолютными отметками рельефа, превышающих 386 м (0,1 %), карстовые формы – единичны.

Фактор «дренирующее влияние овражно-речной сети». Оцениваемая территория расположена в пределах бассейна рек Сылта (ее основных притоков рек Ирень, Бабка, Шаква и прочее). Для территории характерна сильная овражная и речная расчлененность, и только в ее центральной части (соответствующей положению закарстованных массивов), густота сети снижается. Величина вертикально и площадного эрозионного расчленения сильно варьирует в зависимости от геологии. В пределах развития сульфатно-карбонатных толщ абсолютные отметки водораздельных пространств изменяются от 100–150 м в северной, до 250–400 м в восточной и западной частях. Наибольшая глубина вреза соответствует участкам развития карбонатных пород.

Пространственный анализ удаленности карстовых форм от существующей овражно-речной сети показал, эрозионная расчлененность является локализирующим фактором развития карстового процесса в пределах границ ее дренирующего влияния. Статистическая закономерность убывающей общей численности форм от расположения ближайших дрен стремится к логнормальному распределению (рис. 3), более половины (51 %) всех выявленных форм, сосредоточены в пределах узкой 1,5 километровой полосы, окаймляющей овражно-речную сеть. 80 % всех форм локализуется в пределах 3-х километровой зоны.

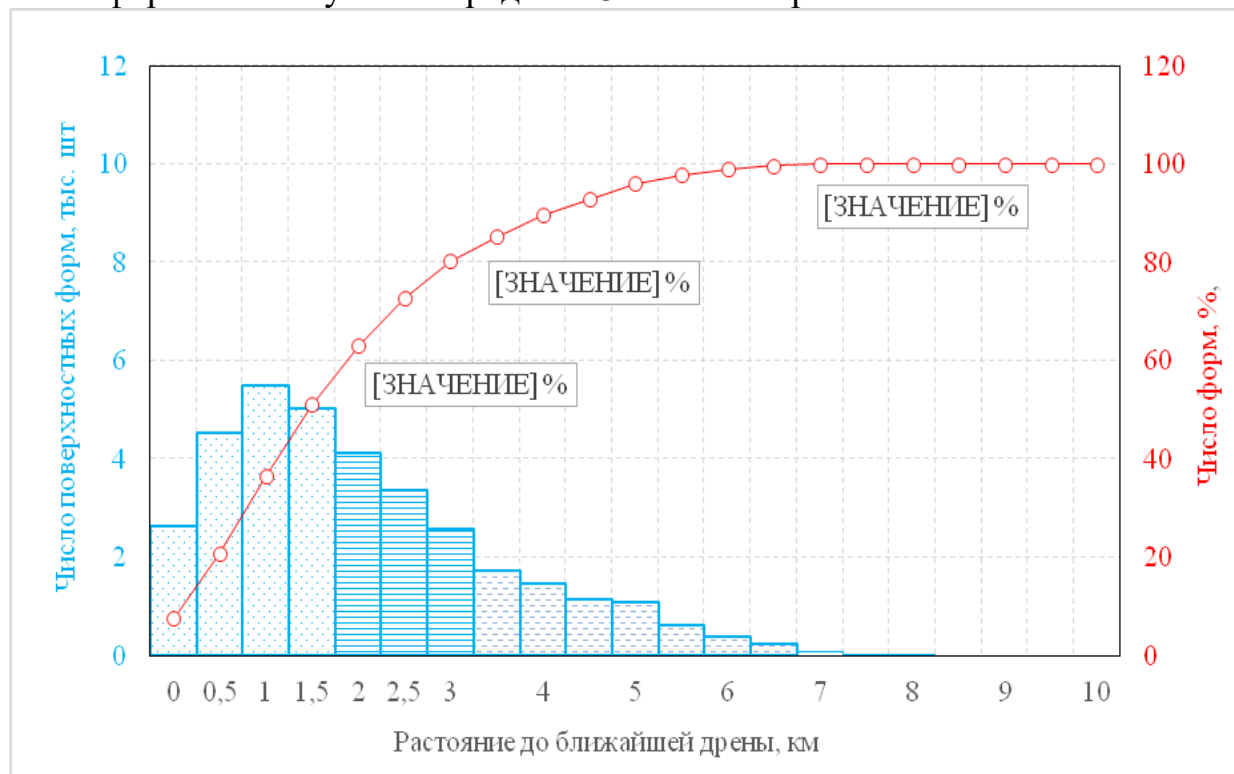


Рис. 3 Гистограмма распределения карстовых форм от ближайших дрен

Оценка степени влияния отдельных природных факторов на интенсивность образования карстовых провалов в целом, может быть выполнена, при помощи понятия энтропии из теории информации. Сопоставлять различные факторы между собой, при условии равного числа признаков m , можно на основе сравнения отношений максимальной энтропии E_{\max} к расчетной E . При этом степень значимости сравниваемых факторов выше, чем больше соотношение E_{\max}/E (Табл. 2).

Таблица 2. Результаты оценки по величине E_{\max}/E

№	Исследуемый фактор	E_{\max}/E
1	Абсолютные отметки рельефа поверхности	1,4562
2	Кровля артинского яруса	1,4981
3	Кровля филипповского горизонта	1,4909
4	Расчетная (условная) мощность филипповского горизонта	1,0442
5	Мощность покровных некарстующихся отложений	1,0623
6	Кровля карстующихся пород	1,2973

Заключение

В результате оценки материалов пространственного анализа геолого-географических данных следует сделать следующие важные выводы:

1. В региональном плане проявляется безоговорочная тенденция приоритета структурно-тектонических факторов, контролирующих основные обстановки развития карста. В данном отношении базовым фактором выступает структурная поверхность кровли артинского яруса. Структурная поверхность кровли карстующихся пород скорее отражает вид и характер трансформации карстующего массива во времени, реализованный потенциал карстового процесса.

2. Роль выдержанных в плане рыхлых и связных покровных некарстующихся отложений, для территорий подаллювиального, покрытого (за исключением перекрытого) карста, развивающегося в условиях спокойного равнинного (платформенного) рельефа – не велика, по сравнению с другими факторами. Основная контролирующая роль заключается в мощностях отложений, при превышении значений толщин более 50-60 м, карстовые формы на дневной поверхности практически не проявляются.

3. Выявлена значительная роль географических факторов, обусловленных характером и морфологией рельефа (глубина и густота эрозионного расчленения территории, характер наклонов поверхности, превышение над базисом эрозии, удаленность от дренирующего влияния эрозионной сети), которая заключается в контролирующем влиянии на циркуляцию карстовых вод.

4. Выполненные расчеты по оценке региональных факторов требуют проверки и обоснования на локальном уровне.

Библиографический список

1. *Беляев Г.Н., Еремина Р.А.* Гидрогеологическая карта СССР, масштаб 1:200000, лист 0-40-XXXIV (Красноуфимск). Съёмочно-тематическая экспедиция, 1971
2. *Бобров Е.А., Оскотский А.М.* Гидрогеологическая карта Урала масштаба 1:200000 листа 0-40-XXI. Пермский геологоразведочный трест, 1966.
3. *Геологическая и структурная карты Волго-Уральской нефтеносной провинции масштаба 1:300 000.* 1953.
4. *Горбунова К. А., Андрейчук В. Н., Костарев В. П., Максимович Н. Г.* Карст и пещеры Пермской области. — Пермь: Изд-во Перм. ун-та, 1992.- 200 с.
5. *Ерофеев Е.А., Катаев В.Н.* Применение вероятностно-статистических методов оценки карстовой опасности в условиях техногенного воздействия на закарстованные территории. Инженерная геология. Декабрь 4/2010. с 34-46.
6. *Ерофеев Е.А., Катаев В.Н.* Идентификация поверхностных карстовых форм по материалам спутниковых изображений // Геология и полезные ископаемые Западного Урала: сборник статей 37-й Всероссийской научно-практической конференции (май 23-24 2017, Пермь) / под редакцией Р.Г. Ибламинова, Пермский Университет, 2017. сс. 193-197.
7. *Erofeev E.A., Kataev V.N.* Estimative karst interpretation of satellite images of the south – south-eastern districts of Perm region // International Symposium KARST 2018 – Expect the Unexpected. Trebinje, 2018 pp. 143-150.
8. *Ерофеев Е.А., Катаев В.Н.* Методический подход к проведению оценочного карстологического дешифрирования территории карстовых районов пермского края / Региональные проблемы дистанционного зондирования Земли // Материалы VI Международной научной конференции. Красноярск, 10-13 сентября 2019 г. 96-101.
9. *Иконников Е.А.* Гидрогеологическая карта СССР масштаба 1:200000 листа 0-40-XXVIII. Отчет Сылвенской гидрогеологической партии по результатам гидрогеологической съемки масштаба 1:200000 листа 0-40-XXVIII за период 1970-1972 гг.
10. *Катаев В.Н.* Отчет о результатах выполненных работ в 2009 году по объекту «Мониторинг закарстованных территорий Пермской области». ПГУ, 2009.
11. *Схематическая структурная карта Пермско-Башкирского Приуралья, масштаб 1:300000.* ВНИИ геофизических методов разведки. Волго-Уральский филиал, 1966.
12. *Ларионова Е.Н.* Структурная карта Молотовского Приуралья по подошве иренской свиты кунгурского яруса нижней перми масштаба 1:500000, 1949.
13. *Лукин В.С., Ежов Ю.А.* Карст и строительство в районе г. Кунгура. Пермь: Перм. Кн. Изд-во, 1975, 118 с.
14. *Мошковский В.И.* Гидрогеологическая карта СССР масштаба 1:200000, лист 0-40-XXVI. Отчет Сылвенской гидрогеологической партии по результатам гидрогеологической съемки масштаба 1:200000 листа 0-40-XXVI за период 1968-1970 гг. 1972.
15. *Мошковский В.И.* Гидрогеологическая карта СССР масштаба 1:200000, лист 0-40-XXVII. Отчет Сылвенской гидрогеологической партии по результатам съемки масштаба 1:200000 листа 0-40-XXVII за период 1971-1973 гг. 1973.
16. *Толмачев В.В., Троицкий Г.М., В.П. Хоменко* // Инженерно-строительное освоение закарстованных территорий / Под ред. Е.А. Сорочана. – М.: Стройиздат, 1986. – 176 с.: ил.

Е.А. Меньшикова

ЕНИ ПГНИУ, menshikova_e@list.ru

ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ ТЕХНОГЕННОЙ ФОРМАЦИИ ГОРНОПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ

В последние десятилетия научным сообществом констатируется факт формирования техногенной геологической формации, которая демонстрирует эволюционное разнообразие седиментационных процессов в условиях техногенного преобразования приповерхностной части литосферы. В развитие указанных научных подходов рассматриваются некоторые результаты многолетних исследований автора по территории Уральского региона, которые дополняют сведения о специфических особенностях техногенной формации – техногенной ассоциации компонентов и техногенно-геохимической ассоциации элементов, процессов интеграции и дифференциации техногенных частиц, интенсивного аутигенного минералообразования, ее существенной роли в формировании экологических условий урбанизированных и промышленных территорий.

Ключевые слова: осадочный процесс, техногенез, фации, отходы, техногенные компоненты, техногенно-геохимическая ассоциация элементов.

E.A. Menshikova

Natural Science Institute of Perm State University,
menshikova_e@list.ru

TECHNOGENICAL FORMATION OF MINING AREAS IN THE PERM REGION

In recent decades, the scientific community has noted the formation of a man-made geological formation. This fact demonstrates the evolutionary diversity of sedimentary processes in the conditions of technogenic transformation of the near-surface part of the lithosphere. In the development of these scientific approaches are considered some of the results of the author's many years of research on the territory of the Ural region, which complement the information about the specific features of the technogenic formation – technogenic association of components and technogenic and geochemical association of elements, processes of integration and differentiation of technogenic particles, intensive autigenic mineral formation, an essential role in the formation of environmental conditions of urbanized and industrial areas.

Key words: sedimentary process, technogenesis, facies, wastes, technogenic components, technogenic and geochemical association of elements.

К разнообразным факторам, определяющих генетическую природу, минеральный и вещественный состав природных осадков, образующихся на поверхности Земного шара, на дне морей и океанов, в современных условиях добавился активно прогрессирующий фактор техногенной деятельности человека (Осовецкий, Меньшикова, 2006). Центрами активного влияния человека на природные процессы осадконакопления являются горнодобывающие районы,

где сосредоточено множество добывающих и перерабатывающих предприятий с мощной инфраструктурой обслуживания. В зонах градопромышленных агломераций интенсивно формируется новый генетический тип осадочных образований – природно-техногенные осадки (Меньшикова, 2019). Источниками вещества этих образований являются как природные минеральные частицы, так и искусственные продукты, а в их формировании участвуют природные процессы и техногенная деятельность человека.

В последние десятилетия научным сообществом (Каздым, 2005, 2006; Несмеянов и др., 2009) констатируется факт формирования техногенной геологической формации, которая своей генетической спецификой демонстрирует эволюционное разнообразие седиментационных процессов в условиях крупномасштабного техногенного преобразования приповерхностной части литосферы. Авторами (Несмеянов и др., 2009; Несмеянов, Воейкова, 2020) в качестве техногенной формации рассматриваются образования, занимающие территорию, близкую или превышающую одну–две сотни квадратных километров и достигающие мощностей, которые свойственны для обычных осадочных пачек или толщ. На данном этапе к ней относят накопления в пределах крупных городских агломераций или производственных комплексов, (прежде всего горнодобывающих).

В развитие заявленных научных подходов в отношении трансформации осадочного процесса в условиях техногенного воздействия ниже рассматриваются некоторые результаты многолетних исследований автора по территории Уральского региона, которые дополняют сведения о специфических особенностях техногенной формации.

Важнейшими характеристиками осадков техногенной формации являются техногенная ассоциация компонентов и техногенно-геохимические ассоциации элементов, которые определяются характером производственной деятельности территории. Так наиболее широко распространенными видами техногенных компонентов в составе современных осадков рек на территории промышленных центров Уральского региона являются шлаковые частицы, обломки строительных материалов (кирпич, битум) и искусственных продуктов (фольга, полимерные материалы, стекло, резина), уголь, металлическая стружка, магнитные сферулы. Среди указанных частиц техногенного происхождения в природно-техногенных осадках особую роль играют магнитные сферулы (Меньшикова, Осовецкий, 2010). Указанные образования легко выделяются в лабораторных условиях в процессе магнитной сепарации и удобны для использования в ходе литомониторинговых исследований, могут быть использованы для оценки скорости седиментации. Их источниками являются в основном предприятия металлургического и коксохимического профиля, муниципальные объекты.

Процессы седиментации отложений техногенной формации отличается выраженной интеграцией техногенных компонентов в осадках, которые приводят к смешению в их составе разнородного материала, поступившего из разных источников и процессов дифференциации техногенных частиц, кото-

рые приводят к закономерному их перераспределению в литолого-фациальных типах осадков.

Характерным примером указанных процессов является территория Кизеловского угольного бассейна (Пермский край). Отходы горного и обогащенного процесса складировались вблизи шахт в отвалах, активно использовались при планировке местности, дорожном строительстве. Углистые частицы обладают высокой миграционной способностью и способны перемещаться воздушными и водными потоками на большие расстояния. Основным источником углистых частиц в донных отложениях рек Кизеловского угольного бассейна являются отходы угледобычи, размещаемые по берегам рек. Миграция вещества отвалов осуществляется в составе донных и особенно взвешенных наносов. Среди выделенных разновидностей наибольшую опасность представляют углистые частицы, включающие пирит (Меньшикова, Осовецкий, 2014). Именно последние являются своего рода транспортерами минерала, содержащего токсичные элементы (As, Co, Ni, Zn, Sb, Se), на огромные расстояния, измеряемые сотнями километров.

Техногенно-геохимическим ассоциациям элементов в современных речных осадках, почвах и грунтах урбанизированных и промышленных территорий посвящено огромное количество публикаций. При анализе результатов исследований важным моментом является установление критериев, указывающих на техногенное происхождение основной массы элемента. Такими критериями являются: наличие высоких концентраций элемента существенно превышающих фоновые значения; широкий диапазон изменения содержаний элемента в пределах одного водотока или площади, количественно характеризующийся коэффициентом вариации; тесные корреляционные связи между элементами техногенного происхождения, что позволяет выделить техногенную ассоциацию элементов (Осовецкий, Меньшикова 2006; Меньшикова, Блинов, 2005).

Среди территорий Пермского края масштабное развитие процессов аутигенного минерогенеза, рассматриваемое также как специфичный признак техногенной формации (Несмеянов и др., 2009; Несмеянов, Воейкова, 2020), характерно для территории Кизеловского угольного бассейна. В речных осадках в местах впадения самоизливов шахтных вод и ниже по течению наблюдается снижение содержания основных минералов естественной ассоциации, за счет увеличения содержания вторичных минералов (гетита, лепидокрокита, ярозита, базальюминита, копиапита) и рентгеноаморфного вещества. На отдельных участках длительное существование самопроизвольного излива высокоминерализованных кислых шахтных вод на поверхность привело к интенсивному минералообразованию сульфатов и гидроксидов железа с образованием морфологических форм, характерных для известко-туфовых построек, формирующихся на участках выхода гидротермальных и углекислых подземных вод (Меньшикова, Блинов, 2016).

Поступательный процесс трансформации осадконакопления в условиях техногенного воздействия отражает и изменение вещественного состава отложе-

ний верхней части разреза городских и промышленных территорий (Меньшикова, Караваева 2019; Меньшикова, Ждакаев, 2012), которое неразрывно связанного с ростом населения, развитием его материальной культуры, техники и производства. В условиях растущего загрязнения окружающей среды техногенные отложения определяют экологические условия урбанизированных и промышленных территорий, могут стать ограничивающим условием возможности размещения объектов строительства, фактором определяющим стоимость земель.

Таким образом, изучение процессов трансформации седиментогенеза в условиях прогрессирующего техногенного воздействия имеет важное теоретическое и практическое значение. Теоретическое значение связано с прогнозированием будущего осадочной оболочки Земли, решением проблемы эволюции осадочного процесса. Практическое значение связано с решением экологических проблем отдельных территорий, возможным использованием техногенных отложений в качестве полезных ископаемых (Блинов, Меньшикова, 2019; Меньшикова, Блинов, Караваева, 2019; Меньшикова и др., 2019). Крупномасштабные процессы техногенного преобразования приповерхностной части литосферы в пределах крупных городских агломераций и горнодобывающих территорий приводят к формированию сложно устроенного покрова осадочных отложений, которые уже рассматривается как самостоятельная осадочная формация.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-05-50071.

Библиографический список

1. *Осовецкий Б.М., Меньшикова Е.А.* Природно-техногенные осадки. Пермь, 2006. 208 с.
2. *Меньшикова Е.А.* Современный седиментогенез в условиях техногенного воздействия // Литология осадочных комплексов Евразии и шельфовых областей: материалы IX Всероссийского литологического совещания с международным участием. Казань: Издательство Казанского университета, 2019. С.289-290.
3. *Каздым А.А.* Техногенные отложения Москвы – литология, геохимия, микростроение // Экологические системы и приборы. 2005. № 8. С. 17-22.
4. *Каздым А.А.* Техногенные отложения древних и современных урбанизированных территорий. Палеоэкологический аспект. М.: Наука, 2006. 158 с.
5. *Несмеянов С.А., Воейкова О.А., Каздым А.А., Макаров В.И.* Техногенные образования как геологическая формация //Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. 2009. № 5. С. 387-398.
6. *Несмеянов С.А., Воейкова О.А.* Техногенная формация – характерный признак техногенного этапа истории Земли //Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. 2020. № 1. С. 18-21.
7. *Меньшикова Е.А., Осовецкий Б.М.* Магнитные сферулы речных осадков Уральского региона // Бюл. МОИП. Отд. геол. 2010. Т. 85, вып. 6. С. 57-62.
8. *Меньшикова Е.А., Осовецкий Б.М.* Углистые частицы в окружающей среде // Проблемы региональной экологии. № 5. 2014. С.83-88.

9. *Меньшикова Е.А., Блинов С.М.* Эколого-геохимическое состояние донных отложений рек Кизеловского угольного бассейна в период после ликвидации шахт // Вестник Перм. ун-та. Пермь, 2005. Вып. 3. Геология. С. 167-174.
10. *Меньшикова Е.А., Блинов С.М.* Природно-техногенное минералообразование на участке самоизлива шахтных вод в Кизеловском угольном бассейне // Осадочные комплексы Урала и прилежащих регионов и их минералогия: материалы 11 Уральского литологического совещания. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2016. С. 174-176.
11. *Меньшикова Е.А., Караваева Т.И.* Особенности оценки состояния грунтов в практике инженерно-экологических изысканий // Инженерные изыскания. 2019. Т.13. № 4. С.16-23. DOI: 10.25296/1997-8650-2019-13-4-16-23.
12. *Меньшикова Е.А., Ждакаев В.И.* Экологическое состояние грунтов городских территорий Пермского края // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. 2017. № 4. С. 124-132. DOI: 10.15593/2409-5125/2017.04.10.
13. *Блинов С.М., Меньшикова Е.А.* Использование отходов предприятий Пермского края // Вестник Пермского университета. Геология. 2019. Т.18. № 2. С.179-191. DOI:10.17072/psu.geol.18.2.179.
14. *Меньшикова Е.А., Блинов С.М., Караваева Т.И.* Состояние окружающей среды в районе Качканарского ГОКа и направления достижения эколого-экономического баланса природопользования // Сергеевские чтения. Эколого-экономический баланс природопользования в горнопромышленных регионах: сб. науч. трудов (по материалам годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии / отв. ред. В.И.Осипов; Перм. гос. нац. иссл. ун-т. Пермь, 2019. С.76-80.
15. *Меньшикова Е.А., Блинов С.М., Бельшев Д.А., Перевозицков Р.Д.* Радиационные исследования отвалов Кизеловского угольного бассейна // Известия Уральского государственного горного университета. 2019. №4 (56). С.81-89. DOI: 10.21440/2307-2091-2019-4-81-89.

И.С. Копылов¹, В.В. Оборин²

¹ ПГНИУ, georif@yandex.ru

² ООО «Запуралгидрогеология», г. Пермь

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ НА ПОДТОПЛЯЕМЫХ ТЕРРИТОРИЯХ ПРИМОРСКОГО КРАЯ В ПАРТИЗАНСКОМ УГОЛЬНОМ БАСЕЙНЕ

Проведено изучение инженерно-геоморфологических условий на подтопляемых территориях Приморского края в Партизанском угольном бассейне. Изучены техногенные и природно-геологические факторы подтопления. Проведено инженерно-геоморфологическое районирование, выделены и описаны морфоструктурные и морфоскульптурные геоморфологические элементы. Дана характеристика инженерно-геоморфологических процессов, среди которых установлены две большие группы экзогенных геологических процессов: аллювиальные (флювиальные) и склоновые (денудационные) процессы.

Ключевые слова: инженерная геоморфология, инженерные изыскания, районирование, морфоструктурные и морфоскульптурные геоморфологические элементы, экзогенные геологические процессы, Приморский край.

ENGINEERING AND GEOMORPHOLOGICAL CONDITIONS IN THE FLOODED TERRITORIES OF THE PRIMORSKY TERRITORY IN THE PARTISAN COAL BASIN

The study of engineering and geomorphological conditions in the flooded territory of the Primorsky territory in the Partizansky coal basin was carried out. Technogenic and natural-geological factors of flooding were studied. Engineering geomorphological zoning was performed, morphostructural and morphosculpture geomorphological elements were identified and described. The characteristic of engineering-geomorphological processes is given, among which two large groups of exogenous geological processes are established: alluvial (fluvial) and slope (denudation) processes.

Keywords: engineering geomorphology, engineering surveys, zoning, morphostructural and morphosculpture geomorphological elements, exogenous geological processes, Primorye territory.

Введение

В Приморском крае РФ на угледобывающих территориях, существует серьезная проблема подтопления шахтными водами для некоторых населенных пунктов. Первоосновой причиной возникновения этой проблемы является строительство рабочих поселков в «рабочих зонах» – на горных отводах угольных шахт. Шахты «Углекаменская» и «Северная», расположенные в Партизанском городском округе, вблизи н.п. Углекаменск, Казанка, являются ликвидированными угледобывающими предприятиями. Добыча каменного угля осуществлялась с конца 30-х гг. до конца 90-х годов XX в. После закрытия шахты «Углекаменская» в 1998 г. и последующим её затоплением в селах Углекаменск, Казанка, расположенных на горном отводе, наблюдается подтопление и заболачивание расположенной ниже по рельефу территории поселков за счет «подпора» грунтовых вод подземными водами.

Для решения проблемы подтопления была разработана федеральная программа Министерства энергетики РФ «Инженерные мероприятия по защите от подтопления зданий и сооружений, расположенных на горных отводах шахт» ОАО «Приморскуголь» (ДОО «Шахтоуправление «Нагорное») В 2018-2019 гг. началось комплексное изучение экологических, гидрогеологических и инженерно-геологических условий, проведены изыскания 1 этапа, в которых принимали участие авторы статьи (Инженерные мероприятия..., 2019ф). Координатором работ являлось ООО «Экопроект» (г. Пермь). В работе принимали участие специалисты различных организаций г. Перми (ПГНИУ каф.ИГиОН, ООО «Запуралгидрогеология» и др.), гг. Владивостока, Находки (ЗАО «ПриморТИСИЗ», ООО «Геолог» и др.), г. Прокопьевска Кемеровской области (ООО «СИГИ») и др.

Цель статьи – выполнить инженерно-геоморфологический анализ и районирование территории шахтных полей и подтопляемых населенных пунктов и установить роль природных (геоморфологических) процессов в проблеме подтопления. В условиях техногенеза и проектируемого строительства инженер-

ных водоотводных сооружений эти процессы рассматриваются как инженерно-геоморфологические процессы.

Методика и результаты исследований

Методика исследований регламентировалась нормативно-техническими документами, принятыми в РФ при проведении инженерно-геологических изысканий для строительства (СП 47.13330.2016, СП 104.13330.2016 СНиП 206-15-85, СП 115.13330.2016 и др.), при проведении геоморфологического картографирования (Герасимов, Ю.А.Мещеряков и др., 1967; Спиридонов, 1985), с учетом опыта наших геолого-геоморфологических исследований (Копылов, 2018, 2019; Копылов И.С., Лунев и др., 2014; Оборин, Копылов, 2018, 2019).

Результатами исследований является: анализ природно-геологических факторов образования подтопления населенных пунктов территории н.п. Углекаменск и Каменка; инженерно-геоморфологическое районирование и характеристика инженерно-геоморфологических процессов.

Природно-геологические условия

Район исследований находится у подножья северо-восточных отрогов Ливадийского хребта (южный отрог хребта Сихота-Алинь) в приподошвенной и долинных частях рек. Абсолютные отметки рельефа колеблются от 103 до 260 м (рис. 1).



Рис. 1. Обзорная схема района работ

Рельеф района полигенетический эрозионно-денудационный, представленный мелкосопочником со склонами средней крутизны (до 25°), созданный процессами смыва, оползания, комплексной денудацией и эрозией. Возраст от нижнего мела до голоцена, с одной стороны, и аккумулятивной формой рельефа низкой и высокой поймы голоценового возраста, с другой.

Климат района муссонный, с активной циклонической деятельностью, обильными осадками летом и холодным сильным ветром без осадков зимой. В

зимний период (ноябрь-март) преобладают муссоны северного и северо-западного направлений, приносящие холодный и сухой воздух с материка.

Гидрография. Район работ расположен в бассейне р. Партизанская, в междуречье ее правыми притоками – Мельники и Тигровая. Река Партизанская (до 1972 г. – Сучан) берёт своё начало на южных склонах Сихотэ-Алиня, впадает в залив Находка Японского моря. Длина реки – 142 км, долина шириной до 2,5 км, площадь водосборного бассейна – 4140 км², среднегодовой расход воды – 36,9 м³/с. Река Тигровая длиной 53 км, площадь водосборного бассейна 687 км², впадает в р. Партизанскую у с. Казанка. Река Мельники длиной 38 км, площадь водосборного бассейна 292 км², впадает в р. Партизанскую около с. Казанка. Русла рек извилистые, неустойчивые легко меняющие свое положение в долине, имеют многочисленные плесы и перекаты, которые чередуются через 100-200 м. Глубины на перекатах – 0,6-0,7 м, на плёсах – 1,0-1,5 м, скорости соответственно составляют 0,8-1,0 и 0,5-0,6 м/с. Годовой ход уровня воды характеризуется чередованием резких подъемов и спадов в тёплую часть года, весенним половодьем, летно-осенними дождевыми паводками и сравнительно низким и устойчивым стоянием во время зимнего периода (Инженерные мероприятия..., 2019).

Питание рек – атмосферное. Летом и в первой половине осени часто происходят наводнения. Их причина – обильные дожди и ливни, приносимые морским муссоном и тропическими циклонами (тайфунами). Как правило, в летний период выпадает более 50% годовой суммы осадков, а за четыре месяца – июнь, июль, август и сентябрь – до 75%. В отдельные годы половина годовой суммы осадков выпадает не за лето, а за один дождь, который длится несколько суток. Тогда расходы воды увеличиваются в десятки раз, уровень воды поднимается на 2-3 м, и происходят крупные наводнения. Реки затапливают низкие надпойменные и пойменные террасы, окраины населенных пунктов, смывают мосты, водозащитные дамбы и земляное полотно дорог. При очень больших наводнениях вода может подниматься до 6 м. Наводнение может длиться несколько недель. Большинство наводнений случаются в разгар циклонической деятельности на Тихом океане в конце лета и начале осени. Эти специфические климатические условия региона, с характерными большими суммами годовых осадков ($P = 600-1000$ мм) и малым испарением ($E = 300-500$ мм); с коэффициентом увлажнения $K_u = P/U$ равному более 1,5, и есть одна из причин подтоплений территорий и формирования многочисленных зон избыточной увлажненности в понижениях рельефа и низких террас.

Геологическое строение территории обусловлено принадлежностью его к Партизанскому угольному бассейну, расположенному на юге Приморского края.

По современным тектоническим представлениям (ВСЕГЕИ) территория исследований расположена в Партизанско-Яковлевской наложенной впадине является наиболее крупной структурой этого типа в Сихотэ-Алиньском регионе. Фундаментом ее являются складчатые структуры Малиновской и Муравьевско-Дунайской зон. Выполнена впадина в основании лагунными песчано-алевролитовыми угленосными отложениями готерив-альба, а в верхней части альб-сеноманской пестроцветной безугольной или слабоугленосной молассой,

переходящей в верхах в вулcano-терригенную молассу. По территории в субмеридиональном направлении проходит один из главных разломов Приморья – Партизанский разлом, разделяющий Сергеевскую и Партизанскую зоны, проходит большей частью по долине р. Партизанка. В местах, доступных наблюдению, представлен зоной (до 0,8 км) интенсивной милонитизации и рассланцевания. Это левый сдвиг, горизонтальная амплитуда, судя по смещению блоков Партизанской зоны, не менее 20 км. Разлом сопровождается многочисленными оперяющими сдвигами и надвигами. Время функционирования разлома поздняя пермь-поздний мел (Анохин и др., 2011).

В результате синергетического действия новейших и современных тектонических движений горизонтальных и вертикальных перемещений плит и геоблоков с одной стороны и действием техногенеза при разработке и ликвидации шахт, вся территория «разбита» многочисленными тектоническими нарушениями, которые оказывают серьезное воздействие на гидрогеологические условия района.

В геологическом строении района принимают участие нижнемеловые отложения, залегающие с разрывом на магматических породах среднепалеозойского возраста. На площади изысканий наибольшее распространение имеют осадочные породы, сучанской серии (K_{1sc}) в составе нижней старосучанской и верхней северосучанской свит. Выше по разрезу меловые отложения перекрываются четвертичными образованиями (Берсенев и др., 1963ф). С поверхности повсеместно развит почвенно-растительный слой средней мощностью 0,2 м.

Элювиально-делювиальные грунты четвертичного возраста. Желто-коричневые и серовато-коричневые глины с прослоями суглинка тяжелого развиты на всем участке, вскрываются под слоем почвенного грунта. Средняя мощность слоя составляет 5-6 м. Представлен глинами и суглинками от тугопластичной до полутвердой консистенции.

Аллювиальные грунты четвертичного возраста. Аллювиальные четвертичные грунты вскрыты скважинами в пониженной части участка (в долине реки Мельники). Средняя мощность слоя составляет 4-5 м. Сложен слой гравийными грунтами с заполнителем (40-45%) из суглинка желто-коричневого, с прослоями галечникового грунта. Слой содержит грунтовую воду в прослоях гравийных и галечниковых грунтов с песчаным заполнителем. Средняя мощность прослоев водонасыщенного грунта составляет 1,0 м.

Элювиальные грунты по осадочным породам четвертичного возраста.

Элювий осадочных пород вскрыт скважинами под слоем аллювиальных отложений на площадке очистных сооружений и под слоем элювиально-делювиальных грунтов в отдельных местах трассы нагорной канавы. Средняя вскрытая мощности слоя составляет 1-2 м. Представлен плотным серым суглинком с дресвой и щебнем (10-20%) сильно выветрелых осадочных пород низкой прочности.

Коренные породы нижнемеловой осадочной угленосной тощи (K_{1sc}).

Коренные скальные породы вскрыты скважинами на глубине от 1,0 м до 11,0 м, что составляет по абсолютной отметке 107,2 м и 104,1 м соответственно. Представлены преимущественно алевролитом от черного до темно-серого цвета, тонко рассланцованным, трещиноватым с прослоями песчаника глинистого

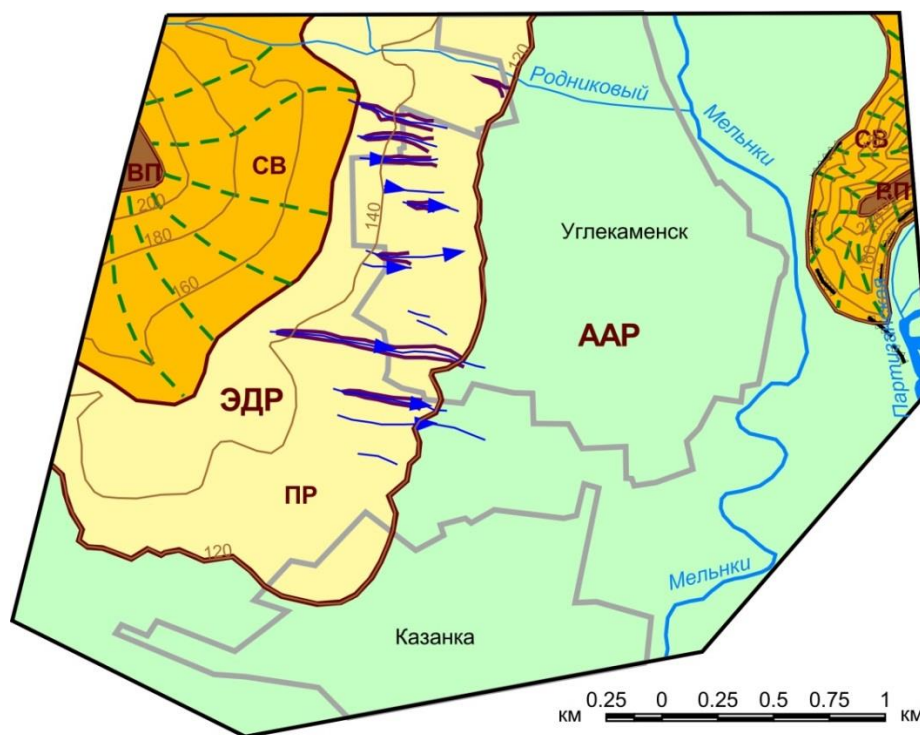
темно-серого. Грунт выветрелый, от низкой прочности до малопрочного (Инженерные мероприятия..., 2019ф).

В результате инженерно-геологических и инженерно-аэрокосмогеологических изысканий установлено сложное геологическое строение зоны активного водообмена, обусловленное фациальной невыдержанностью горизонтов, высокой степенью раздробленности и трещиноватости пород. Наличие линз более плотных глинистых пород усиливает длительность локального подтопления. Наличие зон повышенной тектонической трещиноватости обеспечивает повышенную водопроницаемость и как следствие избыточную водонасыщенность грунтов в зонах подтопления.

Восточная часть с. Углекаменска сложена более плотными трещиноватыми грунтами, и/или менее водонасыщенными. Направление преобладающей трещиноватости – север-юг. Территория с. Казанки также сложена более плотными трещиноватыми грунтами и/или менее водонасыщенными, относительно ослабленным зонам. Направление преобладающей трещиноватости – запад-восток.

Инженерно-геоморфологическое районирование

В инженерно-геоморфологическом отношении район изучения представляет собой сложносформированную геодинамически активную площадку, где выделяются две крупные морфоструктурные единицы: Эрозионно-денудационная равнина (ЭДР); Аллювиально-аккумулятивная равнина (ААР) и морфоскульптурные геоморфологические элементы (рис. 2).



УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

Геоморфологические (морфоструктурные и морфоскульптурные) элементы

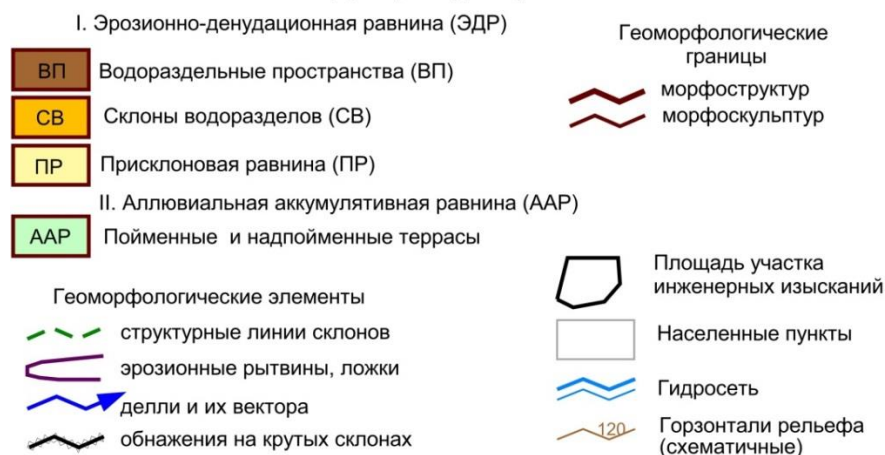


Рис. 2. Геоморфологическая схема

Эрозионно-денудационная равнина (ЭДР) – поле развития мелкосопочного рельефа с характерными морфоскульптурными элементами:

Водораздельные площадки (ВП). Основные рельефоформирующие процессы: денудация, планация, физико-химическое выветривание (элювиирование). Представляют собой относительно небольшие, оглаженные, выпуклые, разноуровневые, часто слабонаклонные площадки ограниченного распространения. Ограниченные структурными линиями перегибов с склонами водоразделов. Являют собой один из основных компонентов водосборной площади (водосбор атмосферных осадков, аккумуляция и перераспределение).

Склоны водоразделов (СВ). Основные рельефоформирующие процессы: денудационные склоновые процессы – плоскостной смыв, эрозия,

солифлюкция, делювиальное перемещение горной массы, суффозия и др. (т.н. 22, 23 и др.). Склоны сопки «Медведь» выпуклые, на юге выпукло-вогнутые. Углы падения от 15 до 45°. Осложнены: небольшими (до несколько сот метров по простиранию) литоморфными террасами); мелкими и средними (до 50-100 м) эрозионными ложками, промоинами, распадками; оплывинами, ополнями, крипом, особенно в зонах переувлажнения, где грунт переувлажнен и легко вовлекается в перемещение по склону в процессе морозного пучения); суффозионными формами - небольшими воронками, одиночными и полигонами ориентированными, в основном, вниз по западному склону сопки. Мощность делювиально-солифлюкционного горизонта невелика – от 0,3 до 3 м. Склоны водоразделов – основной элемент водосборной площади (водосбор, основной транзит атмосферных осадков по склону).

Присклоновые равнины (ПР). Доминирующий процесс – планационная разгрузка ТВГ, и последующая аккумуляция разгрузки поступающего материала со склонов водоразделов. Геоморфологическая специфика – зона сочленения двух крупных морфоструктурных единиц: ЭДР и ААР. Зона сочленения имеет невыраженную, плохо определяемую по рельефу структуру; ее проведение возможно только по прямым геологическим наблюдениям (в основном по скважинам). ПР имеет сложный полигенетический характер. В ее формировании принимали участие склоновые, гляциальные, аллювиальные процессы, что нашло отражение в пёстром спектре генотипов (литотипов) разрезов вскрытых скважинами. Представляет собой разно наклонную (от 25 до 10°) поверхность имеющую сложный рисунок микрорельефа, осложненную эрозионными разномасштабными формами (овраги, промоины, эрозионные борозды, рывины, дели). Как элемент водосборной площади отвечает за транзит и перераспределение поверхностного и приповерхностного стока.

Аллювиально-аккумулятивная равнина (ААР) – сложно построенная и хаотично организованная флювиальная система, горного типа с характерными резкими динамическими видоизменениями в зависимости от крупных климатических коллизий. В составе ААР наблюдаются низкая и высокая поймы (пойменные террасы), нерасчлененные первая, вторая и последующие надпойменные террасы. Русловой аллювий зрелый: по степени окатанности – хорошо окатанный, окатанный и почти окатанный с преобладанием окатанного; полимиктового состава, состоящего, в основном, из пород местного облика; для его характерна слабая сортировка материала. В настоящее время, в долинах рек формируется классический инстративный аллювий – аллювий врезающихся рек выстилающий днище долин незначительной мощностью при активном боковом смещении русла и накоплении поверх руслового аллювия осадков половодья. Для динамических пойм, данной морфоструктурной единицы, характерны: «блуждающие русла», многочисленные протоки, широкие, плоские заливные поймы, старицы – брошенные русла, пойменные озера, заболоченные понижения, старые, заросшие прирусловые валы. Всё это наблюдалось в долинах р. Мельники, протоках р. Тигровая. В отложениях ААР формируется аллювиальный водоносный горизонт (АВГ).

Инженерно-геоморфологические процессы

В результате изысканий были установлены две большие группы экзогенных геологических процессов: аллювиальные (флювиальные) и склоновые (денудационные) процессы.

Аллювиальные (флювиальные) процессы

На рассматриваемой площади объем аллювиальных осадков (грунтов) занимает значительное пространство и слагают, в основном, аллювиальную аккумулятивную равнину. Район работ расположен в междуречье рек Мельники и Тигровая, впадающих южнее в р. Партизанская образуя единую долину в районе сельского поселения Казанка. Долины рек широкие (до 2,5 и более км) с плоским днищем. Реки текут по горно-сопочной эрозионно-денудационной равнине, имеют характер горных водотоков с многочисленными протоками и староречьями (брошенными руслами), с низкими, затопляемыми пойменными террасами. Аллювий рек по своему гранулометрическому составу и структурно-текстурным особенностям: зрелый, промытый, слабосортированный, горного облика. В долинах различимы три основных фации аллювия: русловая, пойменная и старичная которые представлены в многочисленных эрозионных обнажениях вдоль русел рек.

Склоновые (эрозионно-денудационные) процессы

Суффозионно-просадочные явления. На территории отмечается широкое распространение суффозионно-просадочных форм рельефа. В основном они концентрируются на склонах водоразделов (СВ), с углами падения склонов до 15-20°. Они проявляются как одиночными, так и групповыми (полигональными) формами.

Одиночные суффозионные, плоские воронки достигают размера до 3,0-4,5 м. в диаметре, в плане имеют овальную форму; глубина до 0,8 – редко до 1,5 м, с плоским, сухим днищем заросшим травянисто-мелкокустарниковой растительностью.

Групповые формы (полигоны) в основном ориентированы по склону, образуя цепочки мелких форм (с размерами не превышающих 1,5-2,0 м. в диаметре; глубиной до 0,4-0,6 м.); либо полигонами более мелких форм (до 0,3-0,5 м) в диаметре с характерной ориентировкой по падению склона (вытянутые цепочки суффозионных воронок часто фиксируют подземное направление подповерхностного стока связанного с ориентировкой линеаментов). Часто они прерываются псевдотеррасами (нами они зафиксированы как оползневые площадки с характерными следами оползневой деятельности).

Склоновые псевдотеррасы. Часто встречающийся геоморфологический элемент рельефа на поверхности склонов водоразделов северной, северо-восточной и северо-западной экспозиции склонов. Это формы рельефа вызванные крипом т.е. непрерывным перемещением (гравитационного характера) обломочного материала, обусловленного, в основном: климатическими условиями; особенностью развития деятельного слоя; составом и густотой растительности; экспозицией склона; интенсивностью эрозионной деятельности вызванной техногенными факторами и др. явлениями. Наблюдаются небольшие по простиранию склона тела оползней либо оплывин, достигающие до нескольких сот метров, с уступами до 2,0-4,0° м высотой.

Склоновая эрозия (эрозия склонов). Наиболее ярко представлены на поверхности присклоновой равнины на северо-западной окраине п. Углекаменск (ул. Свободы, Горняцкая, Молодежная). Углы падения поверхности присклоновой равнины – до 15°. Наблюдаются широкий спектр различных эрозионных форм: делли – ложбины стока протяженностью до нескольких сот метров, плоскодонных с зачаточными руслами, часто без русловых, переходящих вниз по склону в эрозионные борозды, промоины, и, далее в овраги. По этим эрозионным формам происходит концентрация и дальнейший транзит поверхностного и приповерхностного стока далее вниз по склону. В зоне развития гидрогеодинамического влияния присклоновой равнины, особенно в районе тыловых швов, происходит разгрузка слабо напорного трещинного водоносного горизонта (ТВГ) виде отдельных мочажин или малобежитных, нисходящих рассеянных родничков и переувлажненных, слабо трассируемых зон.

Мерзлотно-динамические явления. Территория расположена в зоне распространения сезонной мерзлоты с характерными мерзлотно-динамическими явлениями. Расчетная глубина сезонного промерзания (по СНиП 2.02.01-83), составляет 1,76 м. При промерзании и оттаивании сезонномерзлых пород происходят резкие изменения структур и физического состояния грунтов которые приводят к деформации склонов с образованием бугров, просадок, оплывин, псевдотеррас, различных эрозионных форм. В переувлажненных, заболоченных участках формируются кочкарники.

К прогнозируемым опасным процессам нужно отнести: морозное пучение грунтов, особенно в поле развития глинистых разностей относящихся к сильнопучинистым грунтам. В зависимости от условий обводненности и литологического состава степень морозного пучения грунтов на участке нового строительства может меняться (Инженерные мероприятия..., 2019ф).

Выводы

1. Рассмотрены инженерно-геоморфологические условия на подтопляемых территориях Приморского края в Партизанском угольном бассейне. Изучены техногенные и основные природно-геологические факторы подтопления (кроме гидрогеологических условий). Проведено инженерно-геоморфологическое районирование, выделены и описаны морфоструктурные и морфоскульптурные геоморфологические элементы. Дана характеристика инженерно-геоморфологических процессов.

2. В восточной части н.п. Углекаменск и Казанка установлена геодинамическая активная зона, связанная с региональным Партизанским разломом. Территория с. Казанка большей частью расположена на поверхности морфоструктурного элемента ААР (аллювиально аккумулятивной равнины). В составе ААР на территории с. Казанка выделяются низкая, высокая террасы, низкие первая и вторая надпойменные террасы, уложенные или причлененные к динамическим поймам рек Тигровая и Мельники. Гидрогеодинамический режим пойменных и надпойменных террас зависит в основном от климатических факторов, в том числе сезонных муссонов. По геолого-гидрогеологическим материалам практически на всей территории с. Казанка подтопление имеет пре-

имущественно природно-геологический характер. На территории п. Углекаменск подтопление имеет природно-техногенный характер.

3. В результате проведения комплексных инженерно-геологических, гидро-геологических изысканий с применением буровых, опытных, геофизических, аэрокосмогеологических исследований изучены природные и техногенные условия района н.п. Углекаменска и Казанки, установлены причины подтопления рабочих поселков в «рабочих зонах» – на горных отводах угольных шахт и сформулированы рекомендации для решения проблемы подтопления – будет предметом следующих публикаций.

Библиографический список:

1. Геологическая карта СССР. К-53-VIII. Масштаб:1:200 000. Серия Сихотэ-Алинская / И.И.Берсенов и др. Приморское геологическое управление, 1963.
2. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 (третье поколение). Серия Дальневосточная. Лист К (52), 53 / В.М.Анохин, В.И.Рыбалко А.А.Аленичева и др. Объяснительная записка. СПб.: ВСЕГЕИ, Владивосток, 2011. 332 с.
3. Инженерные мероприятия по защите от подтопления зданий и сооружений, расположенных на горных отводах шахт ОАО «Приморскуголь» (ДООАО «Шахтоуправление «Нагорное») / Технический отчет по результатам инженерно-геологических изысканий для подготовки проектной документации. 18/0402.3050790019.244/11/98-ИГИ. Том 2 / И.С. Копылов, В.В. Оборин, Т.В. Овчинникова и др. ООО «ЭКОПРОЕКТ», Пермь, 2019. 179 с.
4. Копылов И.С. Ландшафтно-геодинамический анализ при поисках нефти и газа: монография. LAP LAMBERT Academic Publishing. Riga, 2018. 210 с.
5. Копылов И.С. Морфонеотектоническая система оценки геодинамической активности: монография. Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2019. 131 с.
6. Копылов И.С., Лунев Б.С., Наумова О.Б., Маклашин А.В. Геоморфологические ландшафты как основа геоэкологического районирования // Фундаментальные исследования. 2014. № 11-10. С. 2196-2201.
7. Оборин В.В., Копылов И.С. Инженерная геоморфология и геодинамика территории Амурского газохимического комплекса // Геология и полезные ископаемые Западного Урала. 2019. № 2 (39). С. 410-416.
8. Оборин В.В., Копылов И.С. Оценка и прогноз инженерно-геокриологических условий ПТБО г. Игарки на основе инженерных изысканий и аэрокосмогеологических исследований // Геология и полезные ископаемые Западного Урала. № 18. 2018. С.257-260.
9. Рельеф Земли (морфоструктура и морфоскульптура) / И.П.Герасимов, Ю.А.Мещеряков, А.В.Живаго и др. М.: Наука, 1967. 330 с.
10. П 47.13330.2016 Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 11-02-96.
11. СП 104.13330.2016 СНиП 206-15-85 «Инженерная защита территории от затопления и подтопления».
12. СП 115.13330.2016 Актуализированная редакция СНиП 22.01-95 «Геофизика опасных природных воздействий».
13. Спиридонов А.И. Геоморфологическое картографирование. М.: Недра, 1985. 183 с.

С

П. Миланович¹, Н. Г. Максимович², О. Ю. Мещерякова²

¹Университет г. Белграда, г. Белград, Сербия

²ПГНИУ, nmax54@gmail.com, olgam.psu@gmail.com

ОРГАНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА УСТОЙЧИВОСТИ ПЛОТИН И ВОДОХРАНИЛИЩ В РАЙОНАХ РАЗВИТИЯ ЭВАПОРИТОВЫХ ПОРОД

Понимание природы карстообразования в эвапоритах является сложной геотехнической задачей. Даже небольшое количество гипса и солей в случае их растворения могут привести к крайне нежелательным последствиям. В связи с этим необходимым условием устойчивости и безопасной работы плотин является организация системы мониторинга. В статье рассмотрены его основные виды, цель, задачи и методы. Растворение в эвапоритах происходит чрезвычайно быстро (особенно в галогенных породах), поэтому передача данных мониторинга в режиме реального времени является наиболее важным требованием.

Ключевые слова: мониторинг устойчивости, плотины и водохранилища, эвапориты

P. Milanović¹, N. G. Maksimovich², O. Yu. Meshcheriakova²

¹University of Belgrade, Belgrade, Serbia

²Perm State University, nmax54@gmail.com, olgam.psu@gmail.com

THE ORGANIZATION OF THE MONITORING SYSTEM OF DAMS AND RESERVOIRS STABILITY IN AREAS OF EVAPORITE ROCKS DISTRIBUTION

The understanding of properties of evaporite karst nature is complex geotechnical task. Even a small amount of gypsum and salt, if dissolved, can lead to extremely undesirable consequences. In this regard, the organization of a monitoring system is a prerequisite for the stability and safe operation of dams. The article is devoted to monitoring main types, purpose, objectives and methods. Dissolution in evaporite occurs extremely quickly (especially in halogen rocks), therefore, the transmission of real-time monitoring data is the most important requirement.

Key words: sustainability monitoring, dams and reservoirs, evaporites

Гипсовый и соляной виды карста являются наиболее опасными по сравнению с карбонатным, в связи с этим одним из неблагоприятных инженерно-геологических условий строительства гидротехнических сооружений является наличие в их основании эвапоритов.

В мире насчитывается около 90 (действующих, недостроенных, разрушенных) плотин, в основании которых залегают сульфатные и соляные породы.

Наличие растворимых пород и развитие карстовых процессов в районе напорных гидротехнических сооружений создает серьезные проблемы при их эксплуатации, значительно повышает стоимость строительства и ремонта, а в ряде случаев может привести к разрушению плотины и авариям, что сопровождается человеческими жертвами, как, например, при катастрофе на пло-

тине Сен-Френсис в США. Как показала практика, стоимость ремонтных работ, связанных с развитием карстовых процессов, может быть сопоставима со стоимостью строительства сооружения (Максимович, 2006; Milanović, 2019).

Возведение водоподпорных сооружений может привести к изменению гидродинамического режима, появлению в массиве вод, не насыщенных сульфатом кальция или хлоридом натрия. Это создает условия для развития или интенсификации карста, что ставит под угрозу существование сооружений. Активизация карста может быть также связана с увеличением трещиноватости вследствие фильтрационных деформаций, выветривания пород в процессе строительства. Определенную роль играет увеличение растворимости пород под действием нагрузки от сооружения (Maksimovich, 2018). Практика строительства плотин на эвапоритах показывает (Лыкошин, 1968, 1992; Максимович, 2006; James, 1978; Johnson, 2008; Klimchouk, 1996; Maksimovich, 2018; Milanović, 2000), что даже небольшое количество гипса и солей в случае их растворения могут привести к крайне нежелательным последствиям. Меньшая несущая способность эвапоритов по сравнению с известняками приводит к обрушению сводов даже небольших полостей. В связи с этим необходимым условием устойчивости и безопасной работы плотин является организация системы мониторинга (Milanović, 2019).

Мониторинг гидротехнических сооружений представляет собой непрерывный процесс измерения и контроля качественных и количественных изменений различных гидрогеологических, гидрологических, инженерно-геологических и гидрохимических параметров, сначала в естественных условиях, а затем во время эксплуатации водохранилища и плотины. Роль мониторинга по предотвращению нежелательных явлений достигается точной диагностикой любых потенциально разрушительных процессов в режиме реального времени.

Основные виды мониторинга:

- мониторинг любых изменений, которые могут поставить под угрозу устойчивость плотины (например, проницаемость цементационной завесы, процессы после цементации, развитие пещер или каналов в основании грунта, просачивание в теле плотины и др.);

- мониторинг региональных воздействий, обусловленных изменениями водного режима и качества воды, вызванными строительством плотин и водохранилищ (изменения режима поверхностных и подземных вод, загрязнение и другие воздействия на окружающую среду и др.).

Проектирование сети мониторинга основано на анализе текущих знаний о региональных и местных гидрогеологических, инженерно-геологических и гидрологических свойствах, а также характеристиках строящихся гидротехнических сооружений.

Общая цель мониторинга – предотвращение возможных негативных последствий. Роль данных мониторинга заключается в предоставлении информации, необходимой для выявления источника проблемы, и в предложении наиболее эффективных мер по исправлению положения.

Мониторинг за устойчивостью плотин на эвапоритах должен включать в себя следующие виды работ: наблюдения за режимом подземных вод, родниками, гидрохимическое опробование, наблюдения за деформациями земной поверхности и развитием эрозии (Milanović, 2019; Milanović, 2019a).

Наблюдения за режимом подземных вод. Режим уровня грунтовых вод в комплексе плотина–водохранилище является основным параметром, который позволяет быстро оценить возможность активизации карста, представляющую угрозу для сооружения.

Интенсивная фильтрация и утечки из водохранилища по карстовым полостям приводят к изменению (обычно повышению) температуры подземных вод. Измерение температуры подземных вод дает дополнительную информацию о зонах фильтрации по карстовым каналам. Пьезометрическая сеть может использоваться для проведения исследований фильтрации или утечек с использованием индикаторных методов. Эти исследования могут предоставить информацию о характере потока, скоростях утечки и их изменениях с течением времени. Увеличение скоростей фильтрации является показателем увеличения активности карста.

Например, на Камской плотине (Пермский край) контроль изменений гидрогеологической обстановки с целью оценки состояния гипса в основании сооружения осуществляется с 1955 г. с помощью сети пьезометров и скважин для контроля трех водоносных горизонтов, и в настоящее время состоит из 422 пунктов наблюдений.

Наблюдения за родниками. Заполнение водохранилища в эвапоритах сопровождается растворением пород, что приводит к изменению расхода и химического состава родников и появлению новых. В обоих случаях естественный режим поверхностных и подземных вод нарушается. В связи с этим родники, особенно рядом со створом плотины, должны быть включены в программу мониторинга как минимум за один гидрологический год до начала строительства.

Появление новых родников и резкое увеличение их расхода являются показателем угрожающего развития карстовых процессов и требуют срочного анализа и, при необходимости, немедленных корректирующих действий.

Программа мониторинга родников должна включать измерения расхода, температуры, концентрации сульфатов и хлоридов, количества взвешенных частиц, колебаний уровня воды в водохранилище и атмосферных осадков.

Для **мониторинга интенсивности движения поверхностных вод** следует применять различные методы исследования: картографирование дна водоема с помощью сонарной техники и дайверами; использование индикаторов-красителей для обозначения зоны с точками поглощения; проверка трассера в каждой обнаруженной точке поглощения и терморезистивиметрические измерения. Необходимо периодически проводить измерения температуры воды на глубине, чтобы определить области интенсивного поглощения карстовыми полостями. Такие исследования позволяют с большой точностью очерчивать зоны просачивания–утечки. Также важно следить за потоками и в соседних долинах.

В эвапоритах очень важен **гидрохимический мониторинг** родников, пьезометрических скважин, дренажей и водохранилища. Растворение горных пород, особенно гипса и соли, сопровождается значительными изменениями состава поверхностных и подземных вод. Вымывание неконсолидированных отложений из карстовых полостей приводит к увеличению содержания взвешенных частиц и мутности воды. Пробы воды для полного химического анализа и измерения взвешенной нагрузки следует брать из наблюдательных скважин не реже одного раза в месяц. На основании результатов анализа строятся карты и профили минерализации, иллюстрирующие pH и концентрации сульфатов, гидрокарбонатов, хлоридов и других компонентов, которые позволят идентифицировать зоны опреснения.

Наблюдения за деформацией земной поверхности и эрозией. Развитие новых карстовых полостей, как правило, сопровождается деформацией вышележащей земной поверхности. Это может представлять наибольшую опасность в районе плотины и основных ее сооружений. Необходимо создать сеть реперов для определения зон оседания с использованием в том числе LiDAR-съемки.

Геодезический мониторинг для точных наблюдений за движением грунта в местах проседания (в основном вертикального движения) могут быть очень полезны при обнаружении смещений. В последнее время, вследствие использования спутниковых технологий, этот метод мониторинга стал довольно простым и достаточно точным.

Согласно требованиям ICOLD (Международной комиссии по крупным плотинам), мониторинг плотин является обязательным во всех странах. Кроме того, разработка плана защитных мероприятий при строительстве и эксплуатации гидротехнических сооружений является важным требованием в любом инженерном проекте, особенно если в основании присутствуют эвапориты.

Основной целью защитных мероприятий является определение потенциального риска и его предотвращение. Качество и регулярность получения данных, собираемых сетью мониторинга, играет решающую роль. Растворение в эвапоритах происходит чрезвычайно быстро (особенно в галогенных породах), поэтому передача данных мониторинга в режиме реального времени является наиболее важным требованием. Например, быстрые изменения в химическом составе воды в родниках ниже по течению или новые проседания земной поверхности требуют немедленных реабилитационных мероприятий.

Важным требованием также является разработка технических и эксплуатационных правил для предотвращения разрушительных процессов на площадке плотины и минимизации угроз ее стабильности, а также загрязнения окружающей среды на водозаборных сооружениях. Эти правила должны содержать альтернативные решения (временные или постоянные) для эвакуации людей из находящихся под угрозой районов, обеспечения альтернативными источниками водоснабжения и т.д. В рамках плана защитных мероприятий общий подход к восстановительным работам должен быть разработан заранее.

Библиографический список

1. Лыкошин А. Г. Карст и гидротехническое строительство. М.: Изд-во литературы по строительству, 1968. 183 с.
2. Лыкошин А. Г., Молоков Л. А., Парабучев И. А. Карст и строительство гидротехнических сооружений. М.: Гидропроект, 1992. 322 с.
3. Максимович Н. Г. Безопасность плотин на растворимых породах (на примере Камской ГЭС). Пермь: ООО ПС «Гармония», 2006. 212 с.
4. James A. N., Lupton A.R.R. Gypsum and anhydrite in foundations of hydraulic structures // Geotechnique. Vol. 3, 1978. P. 249-272.
5. Johnson K. S. Gypsum-karst problems in constructing dams in the USA // Environmental Geology. Vol. 53. 2008. P. 945–950.
6. Klimchouk A., Forti P., Cooper A. Gypsum karst of the World: a brief overview // International Journal of Speleology. 1996. Vol. 25. Chapter II.1. P. 159-181.
7. Maksimovich N., Meshcheriakova O. The Experience of the Dam Construction on Gypsum-Bearing Rocks (in the Territory of the Former USSR) // Karst 2018. Expect the Unexpected: proceedings of the International Symposium. 6-9 June, 2018. Trebinje, Bosnia and Herzegovina. Belgrade, 2018. pp. 81-88.
8. Milanovic' P. T. Geological engineering in karst: Dams, Reservoirs, Grouting, Groundwater Protection // Water Tapping Tunneling. Belgrad: Zebra, 2000. 348 p.
9. Milanović P., Maksimovich N., Meshcheriakova O. Dams and Reservoirs in Evaporites / Springer, Cham, 2019. 157 p. doi.org/10.1007/978-3-030-18521-3.
10. Milanović P., Maksimovich N., Meshcheriakova O. Experience with some investigation and remediation methods in evaporite karst // Geotechnical Challenges in Karst. Karl Terzaghi and karst in Croatia 110 years ago: proceedings of the International conference / ISRM Specialised Conference / 8th Conference of Croatian Geotechnical Society. 2019a. P. 281-286.

Ю.А. Килин, И.И. Минькевич
ПГНИУ, yuakilin@mail.ru

ПРОГНОЗ ПРОВАЛООБРАЗОВАНИЯ НА УЧАСТКАХ ПОКРЫТОГО КАРСТА

Для оценки карстоопасности районов покрытого карста наиболее актуальной и сложной проблемой является локальный прогноз провалообразования. При развитии карста под некарстующимися породами при достижении критических размеров закрытых карстовых полостей происходят просадки и провалы на поверхности. При покрытом типе карста часто воронки, провалы или просадки отсутствуют или очень слабо выражены в рельефе, поэтому оценку карстоопасности без большого объема буровых работ провести невозможно. Существует три известных механизма деформирования грунтов над полостью: обвальный, суффозионный, обвально-суффозионный. Преобладание одного или другого механизма в течение сезонов года может меняться. Рассмотрены методики расчета возможного образования поверхностных провальных карстовых форм в условиях покрытого карста.

Ключевые слова: карстоопасность, карстовый провал, покровные отложения, коэффициент разрыхления, аккумулятивная емкость.

FORECAST OF FAILURE FORMATION ON COATED KARST SECTIONS

To assess the karst hazard of the areas covered by karst, the most urgent and complex problem is the local forecast of failure formation. With the development of karst under non-karst rocks, when reaching the critical dimensions of closed karst cavities, subsidence and dips occur on the surface. When the type of karst is covered, often funnels, dips or subsidence are absent or very weakly expressed in the relief, so it is impossible to assess the karst hazard without a large amount of drilling work. There are three known mechanisms of soil deformation above the cavity: landslide, suffusion, landslide-suffusion. The prevalence of one or another mechanism during the seasons of the year may vary. The methods of calculating the possible formation of surface failure karst forms under conditions of covered karst are considered.

Key words: karst hazard, karst failure, cover deposits, loosening coefficient, accumulative capacity.

Оценка карстовой опасности – один из актуальнейших в теоретическом и практическом отношении вопросов инженерной геологии. Для оценки устойчивости закарстованных территорий в соответствии с нормативными документами применяют количественные показатели карста: плотность карстовых форм, частота провалов, средний и максимальный диаметр, закарстованность пород (площадная, объемная, линейная). Широкое применение в последние годы нашли методики расчета диаметров прогнозируемых провалов: 1) метод аналогий, 2) вероятностно-статистический, 3) детерминистический (расчетный), 4) лабораторное физическое моделирование (Щербаков и др., 2018).

Карстовые провалы представляют собой деформации с нарушением сплошности поверхности, формирующиеся вследствие обрушения (мгновенного или за короткий срок) толщи грунтов над полостями в карстующихся породах или над карстующимися породами, приводящие к провальным мгновенным деформациям зданий и сооружений. По Г.А. Максимовичу, 1963 размер провалов может варьировать: диаметр – от нескольких метров до сотен метров, глубина – до нескольких десятков метров (Максимович, 1963).

При определении категории карстоопасности мощность и состояние покровных отложений, как правило, не учитывается. В нормативных документах, регулирующих изыскания в карстовых районах, этот критерий не прописан. Мощность перекрывающих толщ и разрыхление грунтов при их обрушении в карстовые полости выступают как факторы ограничения роста и соответственно проявления провала на поверхности. Это позволяет по-новому оценить карстовый массив, перекрытый некарстующимися отложениями и существенно дополнить оценку карстоопасности территорий.

Ранее были предложены методики возможного образования провалов в покровных отложениях над закрытыми карстовыми пустотами.

В работе В.Н. Андрейчука (Андрейчук, 1999) предложена формула: $h_{см} = \Delta h K_p / (K_p - 1)$ (1), где, $h_{см}$ – высота смыкания обвального свода и догоняющей его осыпи, при которой провалообразование прекращается; h_o – высо-

та исходной полости, над которой началось обрушение; K_p – коэффициент разрыхления породы. $K_p = V_o/V_c$, где V_c – объем, который занимала порода в своде полости до обрушения; V_o – объем той же породы в обрушенном состоянии (разрыхленная порода). Зная величины h_o и h можно определить h разницу между куполом обрушения и конусом обрушения: $\Delta h = K_p h_o - (K_p - 1)h$. Таким образом, автором предполагалось решить вопрос устойчивости территории относительно образования провальных карстовых форм на поверхности земли. Проанализировав зависимость карстовых форм от мощности покровных отложений над пещерами, он пришел к выводу, что, несмотря на различия особенностей строения рассматриваемых участков существует критическая мощность перекрывающих отложений – это 50-55м, выше которой проявления карста на поверхности не наблюдается.

Г. Адерхолд (Адерхольд, 2010) реконструируя механизм карстовых провалов в Земле Гессен (Германия) сравнивает h_o (или h_c) и Δh . В работе В.П. Хоменко (2009), выполнен ретроспективный прогноз известного в Нижегородской области Пивоваровского провала. И.А. Южаниным и А.М. Терлецким (2008) на примере шахтных выработок рассмотрена методика послойного (снизу вверх) суммирования мощности отдельных слоев после разрушения $hi \cdot K_p$ и сопоставления значения $\Sigma hi \cdot K_p$ с общей высотой возможной зоны обрушения $m_b + \Sigma hi$, где m_b – вынимаемая мощность пласта очистной выработки ($m_b \equiv \Delta h$).

А.В. Аникеев рассматривает “аккумуляционную емкость” карстовых полостей расположенных под некарстующимися отложениями (Аникеев, 2019). «Аккумуляционная емкость» по его представлениям включает: минеральный состав, трещиноватость, растворимость закарстованных пород, режим и химический состава подземных вод. В первом приближении аккумуляционная емкость карстующихся отложений определяется по формуле: $V_a = V_m(K_k + v_k \cdot T/\Delta h)$, где V_m – объем массива пород или области аккумуляции, в пределах которой может откладываться обломочный материал; Δh – высота этой области (V_m/D_h – ее средняя площадь); K_k – коэффициент открытой трещинно-карстовой пустотности; v_k – скорость карстовой денудации; T – рассматриваемый промежуток времени (в инженерной геологии обычно срок службы зданий и сооружений). Если $v_k \rightarrow 0$ и $v_k \cdot T/\Delta h \ll K_k$, то: $V_a = V_m \cdot K_k$. Кроме аккумулятивной емкости им рассмотрены коэффициенты разрыхления обрушенных в карстовые полости пород. Он пишет, что приходится сталкиваться с ситуацией, когда трещинно-карстовые коллекторы представляют не вполне ясную пространственную систему связанных между собой небольших полостей. А.В. Аникеев констатирует факт трудности в выборе оценки величины коэффициента разрыхления с низкими принимаемыми значениями, достигающими 1,0-1,1 (для песчаных и гравийных грунтов). Исследуя пористость с учетом моделирования, он рекомендует коэффициент разуплотнения песчаной толщи 1.15-1.25. Таким образом, зная мощность перекрывающих отложений, коэффициент разрыхления и аккумулятивную емкость карстового массива, возможно, прогнозировать появление провала на поверхности. Проведем данную оценку на конкретном примере.

Оценка устойчивости участка покрытого гипсового карста на магистральном газопроводе в Ординском районе Пермского края

При проведении съемки с применением беспилотного самолета 8-9 октября 2019г на участке магистрального газопровода в Ординском районе был обнаружен карстовый провал (рис.1).



Рис.1 Карстовый провал

Карстовый провал произошел в 2,0м от магистрального газопровода. Провал представляет собой бутылочное горлышко, верхняя часть имеет размер 3,6х2,5м, длинной осью вытянута вдоль трубы газопровода, нижняя часть размером 4,0х5,0м. Глубина провала 10,0м. Разрез стенок провала сверху вниз:

0,0-0,3м - почвенно-растительный слой;

0,3-0,9м - суглинок коричневый тугопластичный оструктуренный;

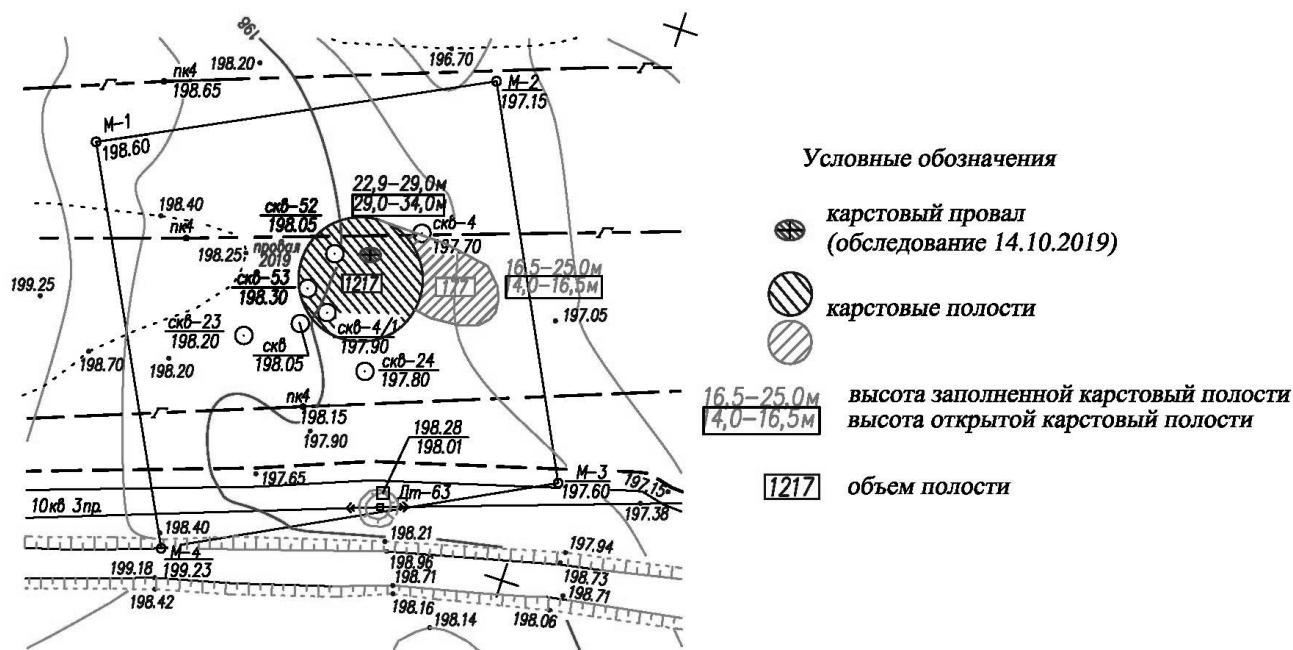
0,9-10,0м- алевролит желтовато-серый, сильновыветрелый, сильнотрещиноватый, сухой с прослоями аргиллита.

Дно провала в виде конуса из обрушившихся грунтов. Оперяющих трещин грунта вокруг провала не зафиксировано. Провал имеет тенденцию к росту в поперечнике за счет обрушений стенок и представляет реальную опасность для газопровода.

Участок исследования относится к Ясылскому карстовому полю, входящему в Иренский карстовый район. Здесь на площади 19 км² было зафиксировано 2537 воронок. Воронки преимущественно конусообразные, чаще всего они располагаются цепочками, во многих из них выходят карстовые породы, между воронками сохранились перемычки. Размеры воронок самые разнообразные и часто достигают 15-25 м в поперечнике и 5-10 м в глубину. Среди пещер самой крупной на Ясылской площади является Пономаревская протяженностью до 300 м. Площадной коэффициент закарстованности территории Ясылского поля составляет 2,4%. По Г.А. Максимовичу – класс I и степень плотности - весьма значительная (Максимович,1963).

На участке, прилегающем непосредственно к провалу, насчитывается 12 карстовых воронок. Данный участок покрытого карста приурочен к водоразделу рек Ирени и Кунгура. Плотность воронок здесь составляет 177 шт/км². По форме воронки круглые, диаметром 35-40 м, по профилю – конические и чашеобразные, глубиной до 10-20м. Воронки неправильной формы, вытянутые разме-

ром 70х40м по профилю блюдцеобразные, глубиной до 3 м. Количество воронок в сторону р. Ирени уменьшается, но диаметр воронок увеличивается до 100-200м и глубина их достигает 20м. Категория карстоопасности для данного участка определена как II В.



Верхняя полость приурочена к терригенному типу разреза соликамского горизонта Р₁. Нижняя полость приурочена к контакту с иренскими гипсами кунгурского яруса. Трещинно-карстовые воды вскрываются на глубинах 56м. Состав вод SO₄-Ca, с минерализацией 3,2 г/дм³. Воды не агрессивны к гипсам. Данный участок по предыдущей оценке карстоопасности был отнесен к потенциально опасному, но противокарстовые мероприятия кроме мониторинга не выполнялись. Образование полостей связано с инфильтрацией атмосферных осадков через сильно трещиноватые и выветрелые покровные алевролиты с прослоями аргиллитов. Они имеют следующие характеристики: плотность 1,73 г/см³, пористость 48,8% (0,957), сцепление 10 кПа, угол внутреннего трения 38 град., модуль деформации 20 МПа. В полостях обвальные отложения (суглинок со щебнем) характеризуются следующими величинами: плотность 1,7 г/см³, пористость 48,5% (0,949), сцепление 8 кПа, угол внутреннего трения 31 град., модуль деформации 10 МПа. Исходя из лабораторных исследований грунтов, коэффициент разрыхления покровных отложений, представленных алевролитами с прослоями аргиллитов, составляет - 1,018. Низкие значения коэффициента разрыхления связаны с нахождением покровных отложений в зоне инфильтра-

ции атмосферных осадков, где они подвергаются сильному разрушению. По предложенной формуле В.Н. Андрейчука (1) с низкими значениями K_p значения не просчитываются. Преобразуем коэффициент разрыхления в соответствии с методикой Аникеева А.В. Коэффициент разрыхления через $K_p = \rho_m / \rho_p = (1 - n_0) / (1 - n)$, он связан с коэффициентом

$k = (n - n_0) / (1 - n_0) = (0,957 - 0,949) / (1 - 0,957) = 0,157$, соответственно: $K_p = k + 1 = 0,157 + 1 = 1,157$. Подставив в формулу $h_c = h_0 K_p / (K_p - 1) = 5,2 \times 1,157 / (1,157 - 1) = 38,32$ м, где h_0 - высота полости, K_p - коэффициент разрыхления. В соответствии с расчетом полость при мощности покровных отложений 29,0 м достигнет поверхности.

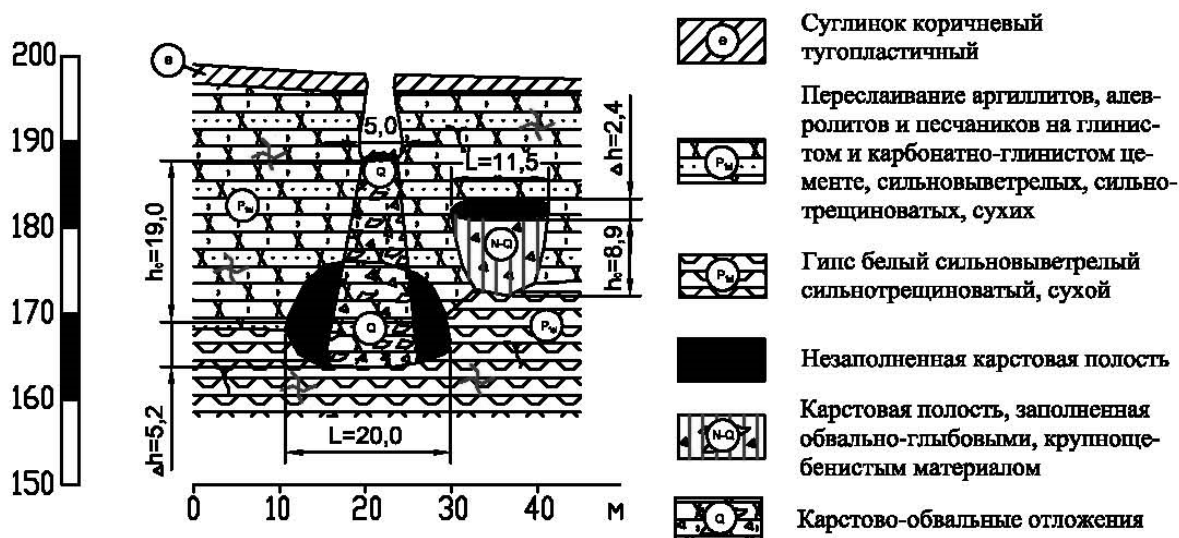


Рис. 3 Схематический геологический разрез карстового провала.

Скорость обрушения в карстовую полость горных пород по наблюдениям за 24 года (1995 - 2019 гг) составила 1,2 м/год. При этом необходимо учитывать, что обрушения были многократными, так как рядом существующая полость имеет в днище обвальное-карстовое отложение. Объем аккумулятивной емкости полости на 1995 год составлял: $V_a = 1205 \text{ м}^3$.

Объем обрушенной породы, заполнивший часть полости и пространство выше полости ($V_{кр}$ - критический объем), который может составить:

$$V_{кр} = \pi R^2 h / 3 = 1,157 \times 3,14 \times 10^2 \times 29 / 3 = 3512 \text{ м}^3.$$

Расчет проведен с учетом области деформирования представляющей собой конус.

С поверхности провал имеет форму усеченного конуса. Объем этого конуса образованного между поверхностью земли и обрушенной породой (незаполненное пространство) составляет: $V_{пр} = 1/3 \pi H (R^2 + Rr + r^2) = 112 \text{ м}^3$.

Сравнивая объемы зафиксированной полости (аккумулятивную емкость полости) 1205 м^3 и объемы обрушенной породы 3512 м^3 с учетом незаполненного пространства 112 м^3 , можно сделать вывод, что не все полостное пространство заполнено обрушенным грунтом, а только его малая часть, которая контролируется объемом самого провала (открытая часть).

В результате образования провала карстоопасность на рассматриваемом участке еще более возросла, т.к. появилась ослабленная раздробленная зона, по

которой будут поступать атмосферные осадки к карстующимся гипсам, в результате суффозии грунт будет ускоренно перемещаться в незаполненные полости.

Как показывает практика, анализ расчетов, связанных с аккумулятивной емкостью карстового массива, высотой смыкания обвального свода и догоняющей его осыпи, при которой провалообразование прекращается, может только частично компенсировать оценку территории по карстоопасности. Данные расчеты могут быть применены в условиях предварительной оценки. Для получения достоверных расчетных данных требуется проведение детальных лабораторных исследований пород покровной толщи с учетом получения коэффициента разрыхления и полевых работ (бурение скважин, геофизические работы) для установления габаритов карстовой полости. Оценка карстоопасности требует комплексирование методов, так как сам механизм провалообразования может меняться в течение сезонов года.

Библиографический список

1. *Адерхольд Г.* Классификация провалов и мульд оседаний в карстоопасных районах Гессена. Рекомендации по оценке геотехнических рисков при проведении строительных мероприятий / Пер. с нем. В.В. Толмачева. Под ред. Е.В. Колосова. Нижний Новгород: ННГА-СУ, 2010. -112 с.
2. *Андрейчук В.Н.* Провалы над гипсовыми пещерами-лабиринтами и оценка устойчивости закарстованных территорий. Черновцы: Изд-во "Прут", 1999. -52 с.
3. *Аникеев А.В.* Аккумулятивная емкость растворимых пород как основной показатель устойчивости районов покрытого карста. Ж. Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, 2019, № 5, с.3-14.
4. *Максимович Г.А.* Основы карстоведения. Вопросы морфологии, спелеологии и гидрогеологии карста. Пермь: Перм. книжное изд-во, 1963. Т.1. -444 с.
5. *Щербаков С.В., Катаев В.Н., Золотарев Д.Р., Ковалева Т.Г.* Поверхностные деформации в условиях покрытого карста: комплексирование методов оценки морфометрических параметров в инженерных целях. //Инженерная геология, 2018, №13(6), с.10-23.

МЕТОДЫ БЕЗЭТАЛОННОЙ КЛАССИФИКАЦИИ ДАННЫХ ЭЛЕКТРОРАЗВЕДКИ ПРИ РЕШЕНИИ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ЗАДАЧ

Проверка эффективности использования суммарного частотного спектра для анализа результатов электроразведочных наблюдений была выполнена на одном из участков Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей. Области предполагаемых инженерно-геологических осложнений устойчиво выделяются как при использовании суммарного частотного спектра, так и методом общего расстояния, не смотря на то, что они имеют различный математический аппарат. Это подтверждает существование осложнений природного или техногенного происхождения в пределах выделенных областей.

Ключевые слова: метод редких сочетаний, кажущееся сопротивление, потенциал естественного поля

L.A. Khristenko^{1,2}, Ju.I. Stepanov^{1,2}

¹Mining Institute, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences,

²Perm State University, liudmila.hristenko@yandex.ru

METHODS OF NON-STANDARD CLASSIFICATION OF ELECTRICAL SURVEY DATA IN THE SOLUTION ENGINEERING - GEOLOGICAL TASKS

A check of the effectiveness of using the total frequency spectrum for analyzing the results of electrical exploration observations was carried out in one of the sections of the Verkhnekamsk potassium-magnesium salts deposit. The areas of alleged engineering-geological complications are stably determined both by using the total frequency spectrum and by the total distance method, despite the fact that they have different mathematical apparatus. This confirms the existence of complications of natural or man-made origin within the designated areas.

Keywords: method of rare combinations, apparent resistance, natural field potential

Одним из факторов, в значительной мере определяющих эффективность геофизических исследований, является граф извлечения информативной составляющей из полевых геофизических данных (Долгаль, 1999). Задачи анализа или классификации многомерных геофизических данных являются некорректными (Марченко, 1988), поскольку не имеют единственного решения. Устойчивость полученных решений зачастую тоже отсутствует (например: даже если есть эталонные объекты, результативность прогнозирования будет определяться, тем, какая совокупность объектов выбрана в качестве обучающей). Объединение различных методов в единый граф или технологическую цепочку - есть реализация идеи В.Н. Страхова (1979) о системной оптимизации, согласно которой «оптимальность (полноценность) итога в интерпретационной системе должна достигаться за счет использования многих неоптимальных (не дающих нужного конечного итога) технологий извлечения информации из данных

наблюдений». При этом наиболее достоверным итогом комплексной интерпретации являются результаты, которые устойчиво выявляются в рамках различных моделей (методов) извлечения информации из исходных данных (Долгаль, Христенко, 2001).

Качественная комплексная интерпретация совокупности различных геофизических признаков может осуществляться с использованием методов распознавания образов, когда эти признаки сравниваются с соответствующими признаками объектов известной природы, которые служат эталонами. Отсутствие эталонных объектов приводит к необходимости использования алгоритмов, которые производят классификацию комплексных геофизических полей без предварительного обучения на эталонных объектах (самообучение). Метод использования суммарного частотного спектра является одним из методов безэталонного прогнозирования или эвристическим методом. Недостатком эвристических методов, и как считается, достаточно существенным является то, что они построены на предположении о том, что отдельные признаки независимы между собой. Тем не менее, отдельные недостатки несколько не умаляют их значения при обработке геолого-геофизических данных. Благодаря наглядности получаемых результатов эвристические алгоритмы начали одними из первых использоваться при решении прикладных задач. Кроме того, эвристические алгоритмы просты в реализации. Все это позволило им сохранить большое значение до настоящего времени.

Боровко Н. Н. предложил и опробовал использование суммарного частотного спектра на золоторудных и редкометальных месторождениях Казахстана (Боровко, 1973). Основной смысл метода заключается в том, что в каждой анализируемой точке рассчитывается относительная частота встречаемости, называемая в статистике частотой. Это отношение числа значений поля, попадающих в заданный интервал амплитуд, к общему числу анализируемых значений поля. Матрицы относительных частот рассчитываются как для самих полей, так и для различных их трансформант. Затем эти матрицы суммируются, формируя результативную матрицу суммарного частотного спектра. Аномальными в данном методе являются минимальные значения суммарного частотного спектра, которые соответствуют редким сочетаниям всех использованных при расчетах признаков, отражающих, в свою очередь, наличие геологических образований, имеющих на данной площади незначительное распространение.

В 2001 г алгоритм расчета суммарного частотного спектра был усовершенствован. Для выбора числа интервалов группирования стала использоваться формула Стерджеса:

$$k = 1 + 3.332 * \lg N,$$

где N - объем выборки. Новая версия программы была написана в системе объектного программирования Delphi 4 (Долгаль, 2001).

Многие геологические признаки, геофизические поля (магнитное, кажущегося электрического сопротивления и др.) и их трансформанты характеризуются логарифмически нормальным распределением. В программе реализована возможность выполнения преобразования $x = \ln(x)$. Для повышения устойчивости решений, число интервалов разбиения амплитуд признака при построении единичного частотного спектра зафиксировано и составляет 100. Поэтому при ра-

боте с любыми трансформантами геофизических полей стало возможным не связывать процесс вычисления частотного спектра с характеристикой точности задания анализируемого параметра.

Проверка эффективности использования суммарного частотного спектра для электроразведочных параметров была выполнена на участке, расположенном в пределах юго-восточного окончания шахтного поля БКПРУ-2 Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей. Детальные исследования выполнялись методом естественного поля (ЕП) и симметричного электропрофилирования (СЭП) с разносами питающей линии АВ=100, 250 и 500 м по 7 профилям. С помощью этого комплекса электроразведочных методов можно выделить и оконтурить участки инженерно-геологических осложнений, а также проследить динамику изменения во времени (при мониторинговых наблюдениях) характера их поведения. Повысить эффективность геологической интерпретации и качество конечного результата в целом позволяет использование статистических характеристик самих измеряемых параметров (Петров, Солоха, 2006). Поэтому совокупности геофизических признаков для расчета суммарного частотного спектра включали статистические характеристики электрических параметров (значений потенциала естественного поля $U_{ЕП}$ и кажущихся сопротивлений КС). Количество совокупностей, в данном случае 3, определялось числом разносов питающей линии АВ. Формировались совокупности путем поочередного объединения статистик, рассчитанных для значений $U_{ЕП}$, со статистиками КС, полученными на разносах АВ=100, 250 и 500 м.

Поскольку интервалы изменений значений кажущихся сопротивлений на всех разносах питающей линии варьируют в пределах одной декады и характер их распределений близок к нормальному закону (рис.1), логнормальное преобразование не выполнялось.

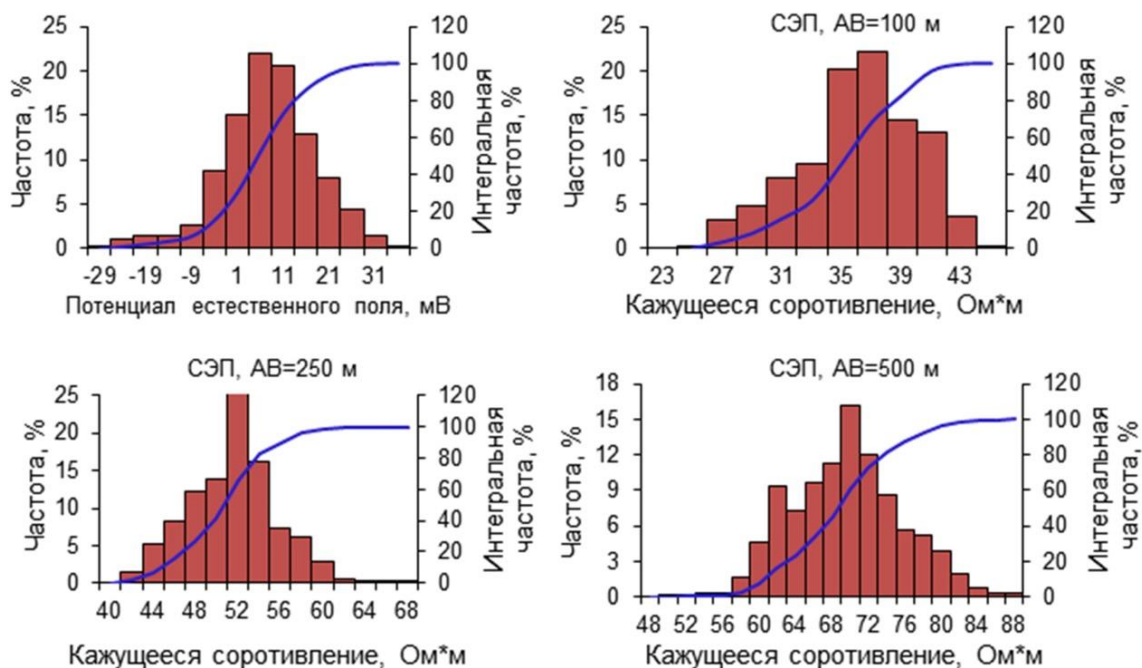


Рис.1. Распределение электрических параметров

На рис.2а приводятся области предполагаемых инженерно-геологических осложнений, выделенные при использовании суммарного частотного спектра

из совокупности статистик потенциалов естественного поля и КС с разном $\Delta B=100$ м.

Для повышения достоверности и информативности результатов интерпретации данных электроразведки авторы занимаются исследованием различных преобразований электрометрических параметров. Использование процедур безэталонной классификации, реализованных в программном комплексе КОСКАД (Петров и др., 2010), позволяло 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 (Христенко, Степанов, 2014).

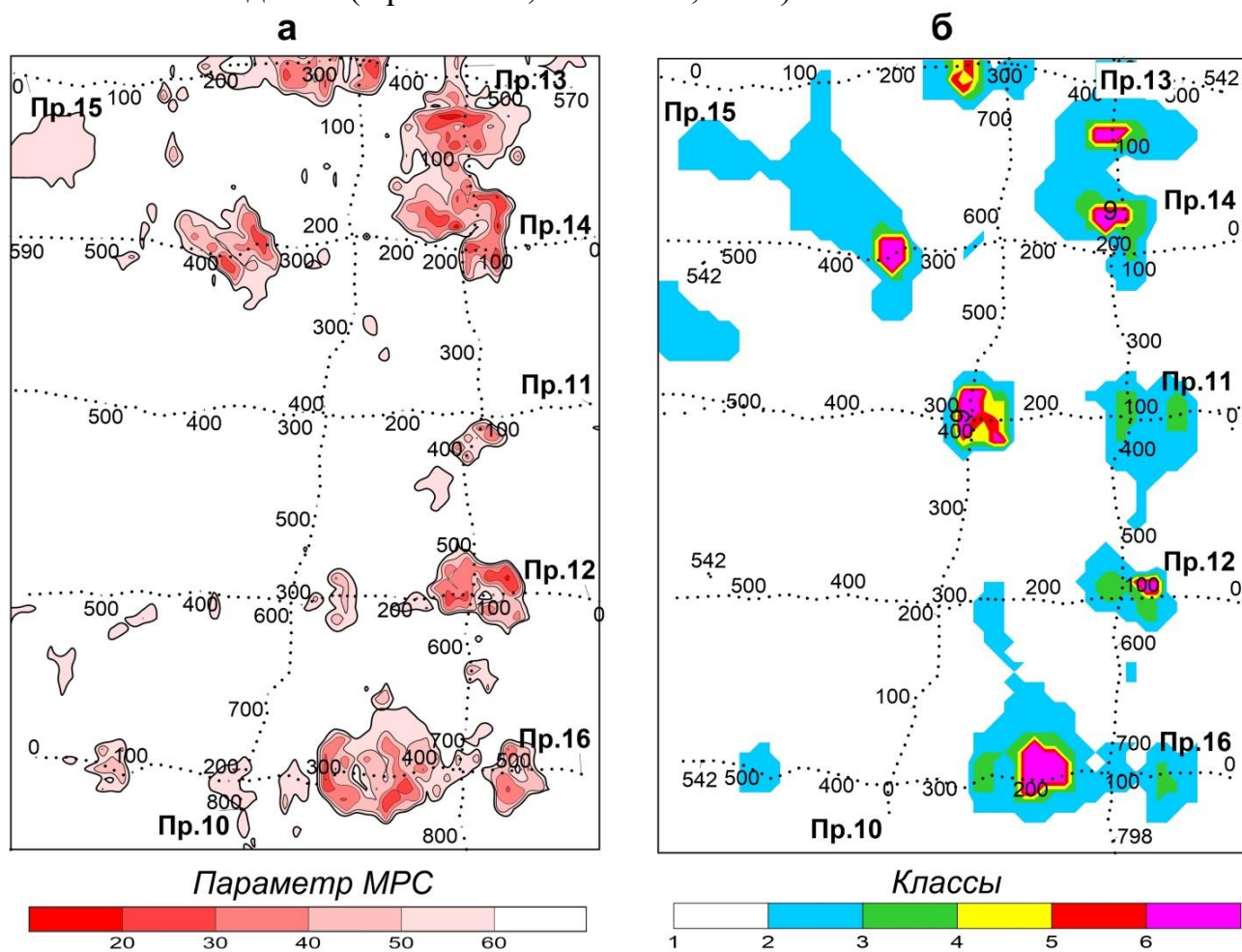


Рис.2. Локализация областей предполагаемых инженерно-геологических осложнений: а - с использованием суммарного частотного спектра; б- методом общего расстояния

Расширение анализируемого признакового пространства при этом осуществлялось за счет рассчитанных в скользящих окнах оценок средних, дисперсий, асимметрии, эксцессов, коэффициентов вариации значений U_{EP} и КС. Аппарат теории оценок программного комплекса КОСКАД, с помощью которого выполнялся анализ рассчитанных оценок статистик и самих значений электрических параметров, значительно расширил объем полученной информации, поз-

волил отчетливо проследить неявно просматривающиеся в наблюдаемых полях особенности строения или состояния породного массива.

С помощью классификационного метода, в данном случае общего расстояния, были получены наиболее содержательные контуры классов в пределах этого же участка (рис.2б). Пространственное расположение контуров классов было сопоставлено с результатами исследований, полученных сейсморазведкой. Контуры выделенных по данным электроразведки классов пространственно совпали с большей частью выделенных сейсморазведкой интервалов осложнений волнового поля (Христенко и др., 2017). Это рассматривалось, как косвенное свидетельство о высокой достоверности выполненных преобразований.

На рис.2 видно, что положение областей, выделенных при использовании суммарного частотного спектра, пространственно согласуется с контурами наиболее содержательных классов, полученных методом общего расстояния.

Таким образом, области предполагаемых инженерно-геологических осложнений, устойчиво выделяются двумя методами, имеющими различный математический аппарат. Это подтверждает существование осложнений природного или техногенного происхождения в пределах выделенных областей.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект 19-05-00654 А).

Библиографический список

1. Боровко Н.Н. Количественный анализ поисковых критериев крупных эндогенных рудных месторождений. / Обзор. Сер. геол. Методы поисков и разведки месторождений метал. полезных ископаемых. М., изд. ВИЭМС, 1973, 53 с.
2. Долгаль А.С. Аналитические аппроксимации геопотенциальных полей и их практическое применение // Геофизический журнал. 1999. № 4. С. 41 -50.
3. Долгаль А.С. Компьютерные технологии обработки и интерпретации данных гравиметрической и магнитной съемок в горной местности // А.С. Долгаль. – Абакан: ООО «Фирма «Март», 2002. 188 с. ISBN 5-86797-041-8
4. Долгаль А.С., Христенко Л.А. Локальное прогнозирование золотого оруденения в Ольховско-Чибихевском рудном районе. //Геофизические методы поисков и разведки, технология и техника геологоразведочных работ, горное дело. Материалы международной научно-технической конференции «Горно-геологическое образование в Сибири. 100 лет на службе науки и производства» Томск, 2001 г. С. 150 – 153.
5. Марченко В.В. Человеко-машинные методы геологического прогнозирования. М.: Недра, 1988. 292 с.
6. Петров А.В., Солоха Е.В. Технология анализа геополей в скользящих окнах / // Вопросы теории и практики геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей: Материалы 33-й сессии Международного семинара им. Д.Г. Успенского, Екатеринбург: Институт геофизики УрО РАН, 2006. С. 272-275.
7. Петров А.В., Юдин Д.Б., Syueli Khou. 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.
8. Страхов В.Н. Основные идеи и методы извлечения информации из данных гравитационных и магнитных наблюдений. // Теория и методика интерпретации гравитационных и магнитных аномалий. М.: Изд. ИФЗ АН СССР, 1979. С. 146-269.

9. 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.
10. 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>. DOI: 10.3997/2214-4609.201700419

П.А. Красильников
ПГНИУ, chisp07@gmail.com

МЕТОД ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОГО РАЙОНИРОВАНИЯ НА ОСНОВЕ ВЕРОЯТНОСТНО-СТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА И ГИС-СИСТЕМ

В статье предлагается новый методический подход для целевого инженерно-геологического районирования на основе вероятностно-статистического подхода. В качестве основного инструмента для обработки большого массива пространственно-распределённых данных используются геоинформационные системы.

Ключевые слова: инженерная геология, районирование, вероятностно-статистический анализ, ГИС.

P.A. Krasilnikov
Perm State University, chisp07@gmail.com

METHOD OF ENGINEERING-GEOLOGICAL ZONING BASED ON PROBABILITY-STATISTICAL ANALYSIS USING GIS

The article proposes a new methodological approach for engineering-geological zoning based on a probabilistic-statistical approach. Geoinformation systems are used as the main tool for processing a large array of spatially distributed data.

Key words: engineering geology, zoning, probabilistic-statistical analysis, GIS.

Введение

Использование геоинформационных систем при картопостроении и подготовке картографического материала обладает большим преимуществом по сравнению с графическими редакторами и уже ни у кого не вызывает сомнений целесообразность их использования. Одним из важных картографических произведений при изучении инженерно-геологических условий территории является создание карт районирования, которые позволяют пользователю сразу выделять внутренне однородные территории по инженерно-геологическим условиям и отличающиеся участки.

Инженерно-геологическое районирование как источник информации обобщает сведения о пространственных закономерностях изменения инженерно-геологических условий изучаемого региона, содержат важнейшую информацию о типах разрезов выявленных инженерно-геологических условиях формирования структур и формаций, генезисе и свойствах пород грунтовой толщи, распространения опасных геологических процессов, установленных или предполагаемых, водоносных горизонтах и др.

Районирование, типизация и ранжирование инженерно-геологических условий имеют важнейшее значение для рационального недропользования, а также для комплексного освоения территории, особенно для районов с интенсивной техногенной нагрузкой, горнодобывающей и нефтедобывающей промышленностью, где в последнее время отмечается развитие чрезвычайных ситуаций, связанных с опасными техноприродными процессами.

Инженерно-геологическое районирование можно подразделить на два вида:

- Классическое (общерегиональное) инженерно-геологическое районирование
- Тематическое (целевое) инженерно-геологическое районирование

Первый вид районирования представляет собой метод картографирования для его общей оценки. Это районирование разделяет территории на отдельные части, относительно однородные в инженерно-геологическом отношении. На основании собранных материалов в процессе проведения полевых и лабораторных исследований, а также сведений, привлеченных из других источников, составляются карты инженерно-геологического районирования. Эти карты содержат обобщенные данные об инженерно-геологических условиях территории, позволяющие дать инженерно-геологическую оценку территории строительства, включая обеспеченность строительными материалами, и рекомендации по проектным решениям.

Второй вид районирования – тематическое (целевое) инженерно-геологическое районирование проводится с целью определения соответствия исследуемой территории определенным условиям (критериям), необходимым для решения поставленной задачи. К примеру, выбор наиболее благоприятного участка для возведения объекта капитального строительства или районирование территории по степени техногенного воздействия. Этот вид районирования чаще всего проводится в балльной оценке. Автором в этой работе предлагается еще один метод инженерно-геологического районирования выполненный на основе вероятностно-статистического анализа.

В методическом плане задача районирования сводится к выбору и оценке классификационного показателя и определению его граничных значений, по которым выделяются таксоны. В формализованном виде инженерно-геологическое районирование можно представить в следующем виде.



1. Ставится целевая задача – Цель.
2. Выбираются критерии отвечающие поставленной цели.
3. Определяются граничные условия.
4. Составляется модель районирования.
5. Выбирается элементарная оценочная ячейка.
6. Выделяются участки территории, отвечающие поставленным целям и составляется карта.

Основная сложность при проведении инженерно-геологического районирования – это выбор и обоснование интегрального показателя, который выступает в качестве классификационного признака.

В практике существуют несколько способов представления классификационного показателя. Сравнение схем районирования, полученных разными методами, показало, что границы выделенных участков в большинстве случаев не совпадают. Это обусловлено рядом причин, и прежде всего выбором классификационного показателя на субъективном (экспертном) уровне без строгого математического обоснования.

В зарубежной литературе вопросам инженерно-геологического районирования также уделяется особое внимание. Анализируя опубликованные работы, автор пришел к выводу, что чаще всего в качестве классификационного показателя при инженерно-геологическом районировании используется геологический и балльный показатели. Так, в работе китайских ученых Peng, X., Fan, W., Wei, Y., Tian, L., Deng, L. «Инженерно-геологическое зонирование урбанизированных территорий сложенных лессовыми породами региона Тунчуань» в качестве классификационного показателя используется балльная оценка. М. Quinta-Ferreira – ученый из Португалии, в своих работах говорит о том, что изучение любой территории должно основываться на ее геологическом строении. Опыт и навыки инженер-геолога являются фундаментальными и незаменимыми при комплексной оценке территории. Коллеги из Казахстана – Mitrofanova, A.N., Kalita, R.S., Abitbayeva, A.D., Uxukbayeva, в основу своих работ по инженерно-геологическому районированию положили принцип инженерно-геологической классификации грунтов, учитывая их состав, свойства.

Таким образом, в настоящее время методы вероятностно-статистического анализа при инженерно-геологическом районировании практически не используются, исключение составляют задачи подтверждения выделенных ранее районов. Так в работе A. Hossein Morshedy, S.A. Torabi, H. Memarian авторы в пределах выделенных ранее зон проводят геостатистический анализ для моделирования пространственной изменчивости.

Исходя из вышесказанного, автор считает, что использование вероятностно-статистических методов при инженерно-геологическом районировании является наиболее перспективным направлением

Постановка проблемы

Все перечисленные методы районирования направлены на выделение однотипных областей по заранее известным показателям, определяющим инженерно-геологические условия территории. Метод балльной оценки позволяет приве-

сти к общему знаменателю различных процессы и явления, однако вероятность возникновения какого-либо процесса или явления оценить достаточно сложно.

Существующие методики прогнозных оценок и, как результат, целевого инженерно-геологического районирования, не могут учесть все возможные негативные последствия. Возникают различного рода непредвиденные ситуации, связанные с неоднородностью геологической толщи, неотектоническими процессами, человеческим и другими неучтенными факторами.

Примерами таких неучтенных показателей являются непредвиденно возникшие на земной поверхности провалы, в пределах отрабатываемых участков Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей, зафиксированных в различные годы над подработанными территориями.

Так, в 1999 году в пределах горных отводов БКРУ – 1 и 2 были отмечены просадки земной поверхности. Работы по геологическому изучению территории образования провальных форм проводились ПГГСП Геокарта в районе пос. Новая Зырянка и дер. Дурыманы. В результате выполненных работ сотрудниками ПГГСП «ГЕОКАРТА», было дано заключение, что все провальные образования имеют суффозионное происхождение и приурочены к системе ложбин подземного стока, связанной с длительно существующими трещинами бортового отпора. Возможно, первые проявления были связаны с началом заполнения Семинского пруда, когда усилилась нагрузка на и без того напряженные горные породы. Они считали, что активизация суффозии весной 1999 г. может иметь несколько причин:

1. Резкое падение уровня грунтовых вод.

2. Переполнение пруда, с чем связано увеличение давления на его ложе, повлекшее раскрытие трещин бортового отпора и суффозионный вымыв в них и вдоль них вышележащих рыхлых отложений. Раскрытие трещин, кстати, могло быть вызвано и серией землетрясений 1995 – 1997 г. г. (Белкин В.В., 1999)

Затем, в отчете «Мониторинг геологической среды Верхнекамского солеродного бассейна» от 2003 года отмечалось, что в 1999 году в поселке Новая Зырянка обнаружены провалы земной поверхности, пространственно совпадающие с краевой частью мульды сдвижения вдоль длительно остановленной границы очистных работ на 9-й восточной панели и зоны смягчения. При обследовании отработанного пространства в районе 7-9 восточных панелей выявлены участки штреков, пройденных как по пласту КрII так и по пласту В, полностью перекрытые обрушившейся из кровли породой, на которых отмечены также разрушение и растрескивание межкамерных целиков. (Шумахер и др., 2003).

Ими же отмечено, что по состоянию на май 2001 года, провалы на окраине п. Н. Зырянка по сравнению с 1999 годом стали глубже и шире. Озеро расположенное на северной окраине п. Н. Зырянка, исчезнувшее весной 1999г., вновь появилось, а затем вновь исчезло. После его исчезновения вновь появились провалы (фото 1, 2).



Фото 1. Озеро на северо-восточной окраине п. Н.-Зырянка: слева – 3.05.2001, справа – 8.05.2001г. (Шумахер и др., 2003)



Фото 2 - Провалы в п. Н. Зырянка, образовавшиеся после исчезновения озера. 8.05.2001(Шумахер и др., 2003.)

Основным выводом в отчете стало то, что интенсивная разработка месторождений полезных ископаемых, залегающих в недрах Соликамской впадины, приводит к нарушению геологического равновесия и активизации геодинамических процессов в недрах земли, вызывающих различные негативные последствия, порой катастрофические, которые требуют дополнительных мер охраны объектов, подрабатываемых и находящихся в зоне влияния горных работ.

Зная причины и места возникновения таких явлений можно принимать своевременные меры. Поэтому возникает задача инженерно-геологического районирования по степени риска возникновения чрезвычайных ситуаций.

Таким образом, необходима методика инженерно-геологического районирования, позволяющая спрогнозировать участки возникновения таких деформаций.

Одной из возможных методик выделения участков повышенных рисков является метод аналогии, который позволяет на качественном уровне определять похожие участки. Однако качественной оценки не всегда достаточно. В работах (Галкин и др.2017; Середин, Красильников,2016) авторы проводят инженерно-геологическое районирование на основе вероятностно-статистического анализа. Использование же инструментов ГИС для реализации этой методики существенной экономит временные ресурсы и позволяет проводить расчёты на разных масштабных уровнях, с разной степенью детализации. Преимущество использования ГИС-систем для районирования, раскрыто в работах (Коноплев, Красильников, 2009, 2012)

Используемая методика на основе формализованного математического языка существенно снижает субъективный фактор и позволяет определить вероятность возникновения какого-либо события, либо вероятность соотнесения одного участка другому.

Методика инженерно-геологического районирования

Особенностью предлагаемой методики районирования является то, что для каждой подобласти районирования известны численные значения факторных признаков и имеются эталонные участки (классы), положительные по отношению к целевой задаче (G-I) и отрицательной по отношению к целевой задаче (G-2) (рис. 1). При наличии вышеописанных исходных данных районирование сводится к выбору классификационного показателя (K_n), который оценивается (нормируется) многомерными статистическими критериями. В качестве классификационного показателя может выступать показатель условных комплексных вероятностей ($P_{\text{комп}}$).

У каждой методики есть условия применимости. Для этой они следующие:

1. Наличие 2 эталонных участков: положительного по отношению к целевой задаче и отрицательного по отношению к целевой задаче;
2. Известны численные значения факторных (геологических) признаков в каждой точке исследуемой территории;
3. Значение факторных признаков значительно отличаются в эталонных участках.

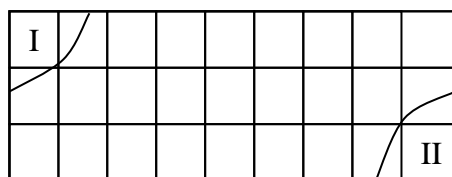


Рис. 1. Схема размещения отдельных (эталонных) участков, где сооружения находятся в устойчивом (I) и неустойчивом (II) состоянии.

При наличии вышеописанных исходных данных алгоритм работы следующий:

1. Составляются выборки для I и II участков по каждому факторному признаку.
2. Определяется интервальная вероятность по двум участкам: определяются интервалы, рассчитываются частоты, частости, а затем интервальные вероятности.
3. По данным интервальных вероятностей для каждого участка строится номограмма, либо рассчитывается уравнение регрессии (рис.2).

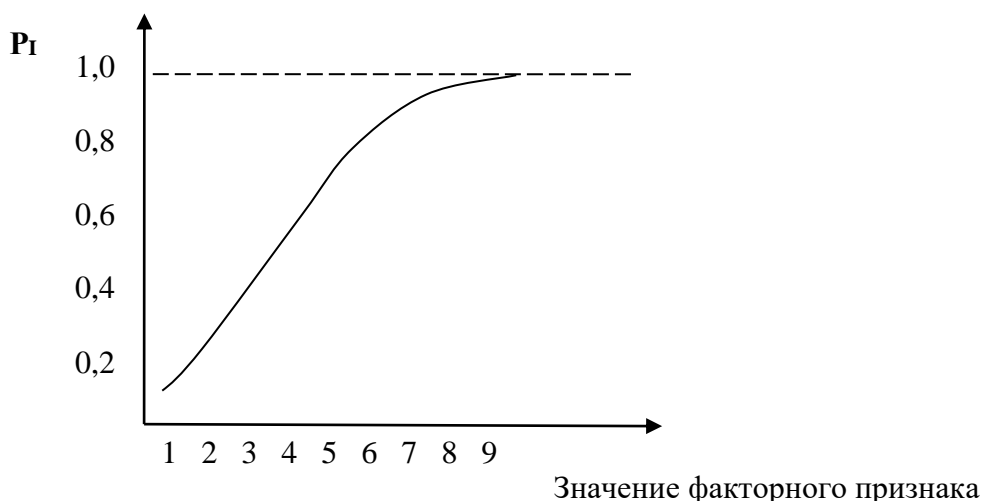


Рис. 2. Номограмма вероятности (P) отнесения точки опробования по факторному признаку $m_{гл.}$ к I участку.

4. Используя номограмму либо уравнение связи, рассчитываем вероятность отнесения каждой районированной подобласти к I или II участкам по каждому факторному признаку.

5. Рассчитываем общую вероятность по формуле, предложенной профессором В.И. Галкиным (Галкин и др, 2017).

$$P_{общ}^I = \frac{P_1^1 \cdot P_1^2 \cdot P_1^n}{P_1^1 \cdot P_1^2 \cdot P_1^n + (1 - P_1^1) \cdot (1 - P_1^2) \cdot (1 - P_1^n)}$$

где: P_1^1, P_1^2, P_1^n - вероятность отнесения точки опробования к I участку по факторным признакам

Считаем, что при $P_{общ}^I > 0,75$ вероятность отнесения к I участку составляет более 75%, а следовательно соответствует I эталонному участку. При $P_{общ}^I < 0,25$ подобласть соответствует II эталонному участку, а при $P_{общ}^I = 0,25 - 0,75$ и при $P_{общ}^I = 0,25 - 0,5$ с высокой степенью достоверности ни к тому, ни к другому отнести нельзя.

Зная численные значения $K_p (P_{общ}^I)$ по всей территории исследования используя классификационную модель районирования, составляем карту районирования и описываем таксоны.

Таким образом, этапы реализации этой методики следующие:

1. Определить факторные признаки
2. Определить значение каждого факторного признака во всех подобластях исследуемой территории
3. Подготовить выборки количественных параметров каждого факторного признака в пределах 2-х эталонных участков
4. Определить интервальную вероятность по двум эталонным участкам
5. Рассчитать уравнение регрессии для каждого факторного признака
6. Рассчитать интервальную вероятность каждого факторного признака для каждой точки исследуемой территории
7. Рассчитать интегральную вероятность наступления исследуемого события

Практическая реализация с использованием ГИС

Инженерно-геологическое районирование территории исследования осуществлялось с целью прогнозной оценки и выявления участков повышенного риска возникновения провальных форм. В качестве эталонных участков бралась территории БКРУ-1. Эталонным негативным участком стала территории образования провальных форм и трещин, а эталонным положительным участком зоны отсутствия хрупких деформаций и возникновения провальных форм.

Местоположение зафиксированных провалов представлено на рисунке 3.

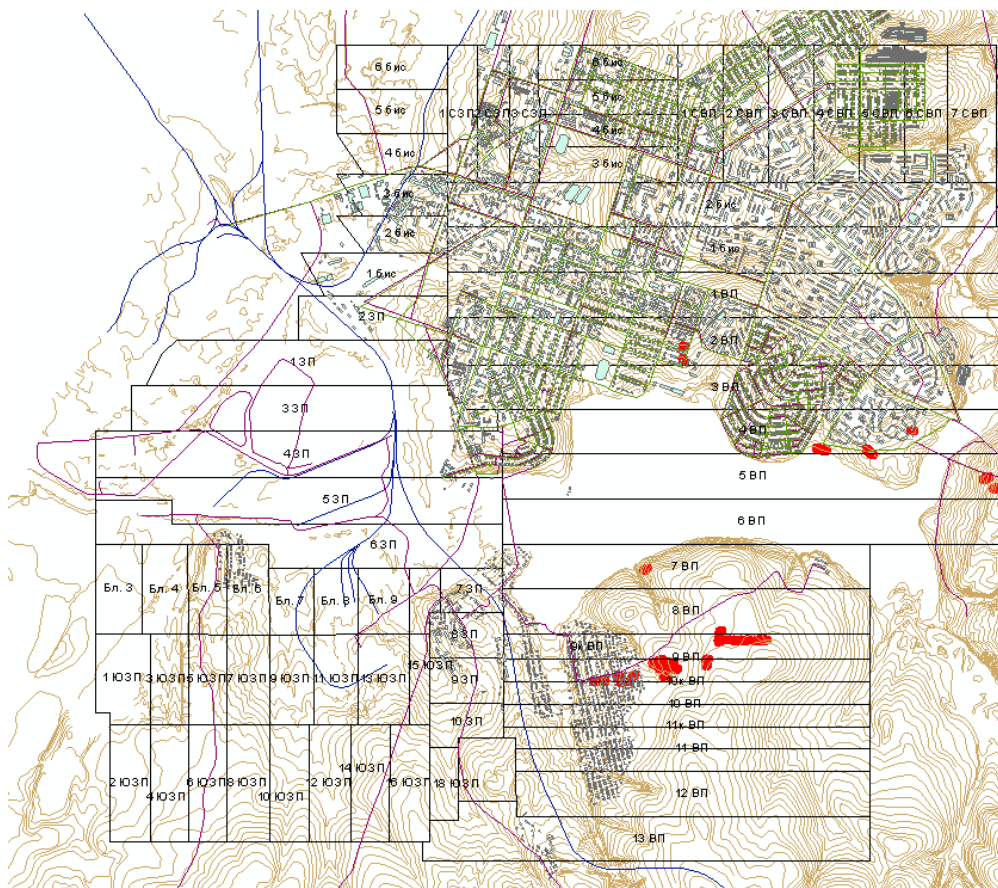


Рис. 3. Местоположение провалов земной поверхности

Зафиксированные провалы пространственно совпадают с краевой частью мульды сдвижения вдоль длительно остановленной границы очистных работ на 9-й восточной панели (рис.4).

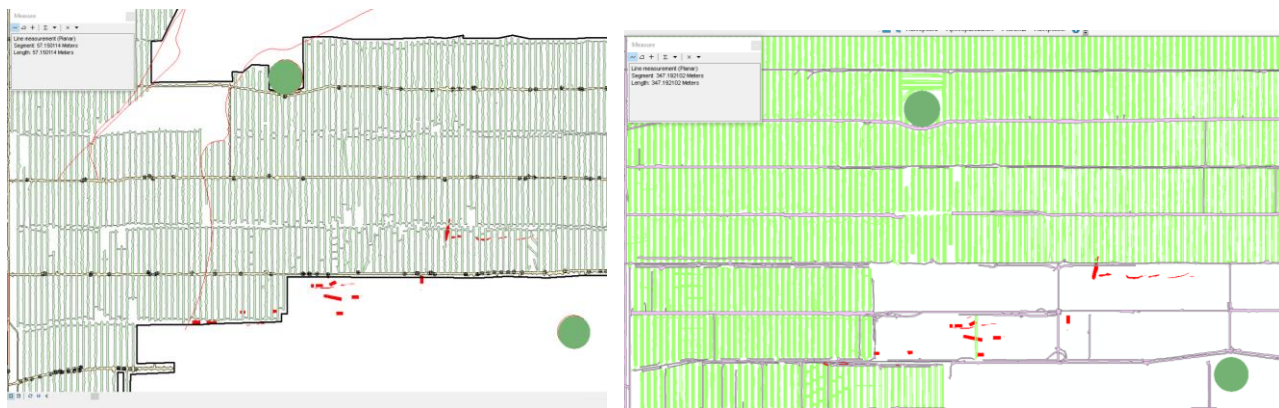


Рис. 4 Местоположение провалов. Слева – относительно штреков пласта В, справа – Кр2

Как описывалось выше, условия применимости метода заключаются в наличии 2 эталонных участков: положительного по отношению к целевой задаче и отрицательного по отношению к целевой задаче, известны численные значения факторных (геологических) признаков в каждой точке территории районирования и значение факторных признаков значительно отличаются в эталонных участках. Местоположение эталонных участков показано на рисунке 5.

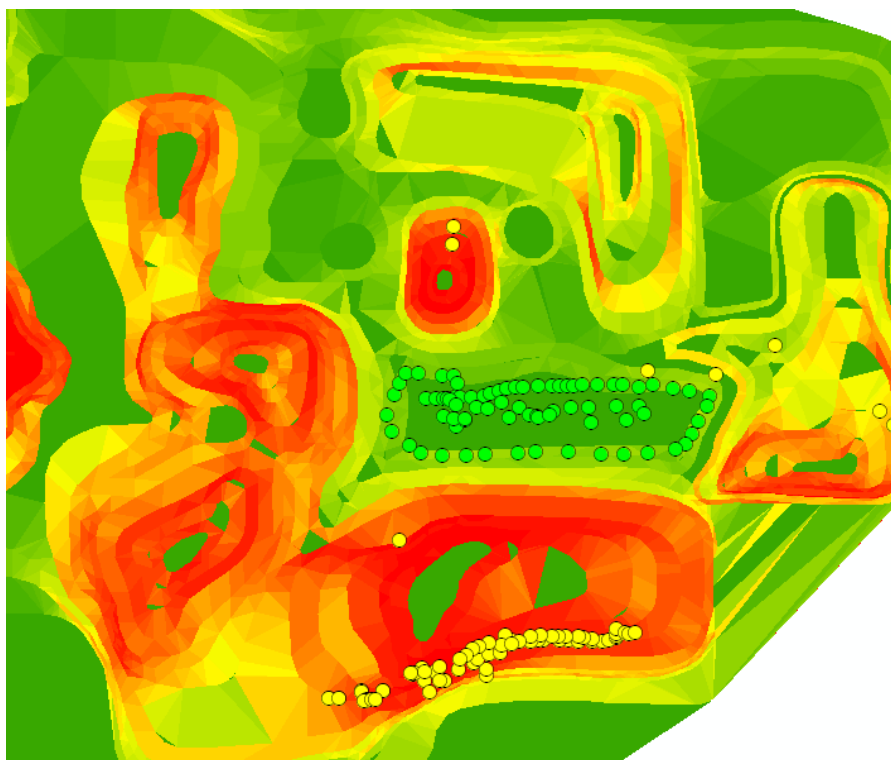


Рис. 5. Местоположение эталонных участков

Желтыми точками показаны места зафиксированных провалов, которые будут представлять выборку характерную для негативных значений. А зелеными точками участки, находящиеся в близких геологических условиях, но в которых хрупкие деформации земной поверхности не зарегистрированы. Они определены автором.

Так как согласно отчета «Мониторинг геологической среды Верхнекамского месторождения калийных солей» возникшие провалы пространственно совпадают с краевой частью мульды сдвижения вдоль длительно остановленной границы выемочных работ, то в качестве одного из факторных признаков был взят показатель удаленности от фронта работ (м), еще одним показателем стала мощность вышележащей толщи над обрабатываемыми пластами (м), а также суммарная мощность изъятной горной массы (м) и угол наклона мульды сдвижения.

Следующим этапом стала подготовка исходных данных для вероятностно-статистического анализа. Здесь геоинформационные системы существенно сэкономили временные ресурсы и упростили процедуру подготовки исходных данных.

Технически процедура свелась к следующему. На основе созданной автором геоинформационной системы, вся область моделирования разбивалась на ячейки с шагом 50 метров. В каждой ячейке, в автоматическом режиме, с использованием метода скользящего окна снимались значения указанных выше факторных признаков. Таким образом, был сформирован ГИС-слой в атрибутивной таблице которого хранится информация, содержащая значения факторных признаков в каждой оценочной ячейке.

Далее создавался еще один ГИС проект, содержащий факторные признаки по эталонным участкам. Для оценки удаленности от границы работ строились буферные зоны с шагом 5 м и, в каждой эталонной точке, автоматически происходила запись этого значения в атрибутивную таблицу.

Далее данные атрибутивных таблиц экспортировались в формат таблицы Excel, где осуществлялся расчет по следующему порядку:

1. Определяются интервалы
2. Считаются частоты (m) для каждого интервала
3. Считаются частоты
4. Считаются интервальные вероятности
5. Строится номограмма и определяется уравнение связи
6. Определяется вероятность в каждой подобласти

Полученные номограммы представлены на рисунке 6.



Рис. 6. Номограммы вероятностей по каждому факторному признаку.

В результате обработки этих данных были получены уравнения связи, которые в дальнейшем, в ГИС-системе, с использованием калькулятора поля, рассчитывали интервальные вероятности.

На основании этих вероятностей осуществлялось их приведение к общему показателю по методике, описанной выше, и построение карты средствами Arcgis (рис.7).

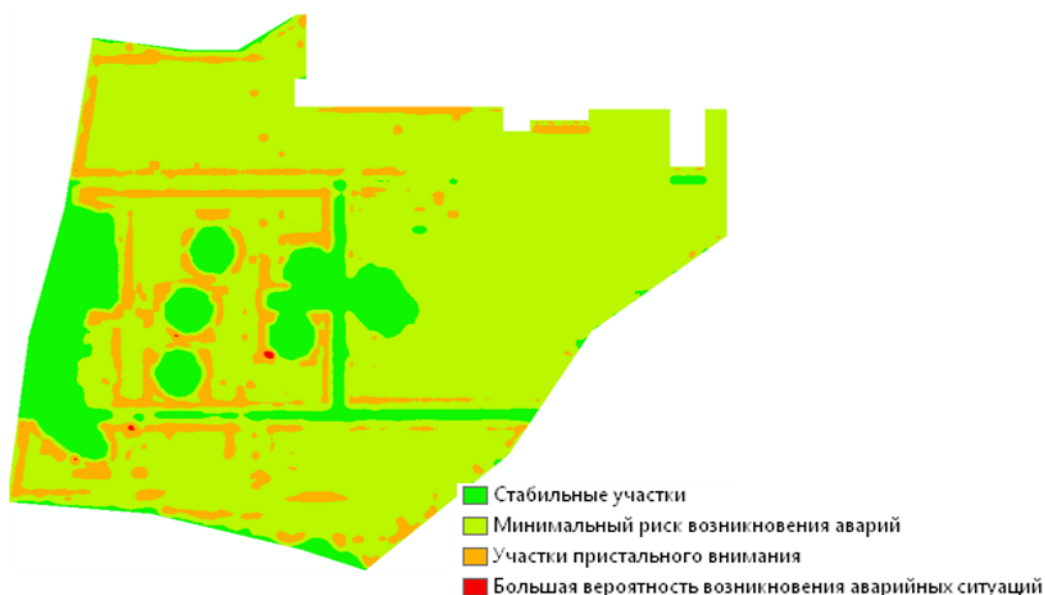


Рис. 7. Районирование территории по риску возникновения провалов.

Анализируя факторные признаки, используемые для этого целевого районирования, необходимо отметить, что результаты построения прогнозной карты направлены только на оценку техногенного воздействия и не учитывают геологические условия территории. Поэтому они могут быть использованы только в том случае, если будет достоверно известно, что возникшие провалы земной поверхности на БКРУ-1 не связаны с геологическими условиями. Для получения более точной прогнозной карты, необходимо учитывать и геологические условия. Однако, целью данной работы ставилось не построение прогнозной карты, а раскрытия нового методического подхода.

Библиографический список:

1. *Разработка* многомерных статистических моделей для инженерно-геологического районирования территорий / Галкин В.И., Середин В.В., Красильников П.А., Растегаев А.В. // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. 2017. № 3. С. 58-66.
2. *Середин В.В., Красильников П.А.* Инженерно-геологическое районирование, основанное на многомерной оценке классификационного показателя // Вестник Пермского университета. Геология. 2016. № 2 (31). С. 48-54.
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. *Шумахер А.И., Кузнецов Н.В., Мынка Ю.В., Бруев Н.И., Квиткин С.Ю., Белкин В.В.* Сводный отчет за 1998–2002 гг. «Мониторинг геологической среды верхнекамского солеродного бассейна». Березники, 2003.
5. *Белкин В.В.* Предварительное заключение о возможных причинах чрезвычайных ситуаций в п. Н. Зырянка и Дурыманы. Березники, 1999. 2 с.
6. *Кудряшов А.И.* Результаты картирования провальных образований в районе пос. Нов. Зырянка. Пермь, 1999. 8 с.
7. *Konoplev A.V., Krasilnikov P.A.* A technique for mapping territorial combinations of natural resources and their comprehensive assessment by a GIS technology (as exemplified by Perm krai). // Geography and Natural Resources. 2012. Т. 33. № 1. С. 83-86.

Авторский указатель

1. Башков А.Н. 113
2. Башкова С.Е. 113
3. Блинов С.М. 251
4. Бобров Д.М. 77
5. Богомаз М.В. 217
6. Болотов Г.Б. 145
7. Бурмистров А. Д. 168
8. Ваганов С.С. 251
9. Волкова М.А. 71, 243
10. Ворошилов В.А. 173
11. Галишевский В.А. 200
12. Гершанок В. А. 168
13. Горожанцев А.В. 193
14. Грибков Д.С. 88
15. Долгаль А.С. 173
16. Дробинина Е.В. 225
17. Дунь И.Ю. 222
18. Ермолович И.Г. 208, 261
19. Ерофеев Е.А. 232, 266
20. Ибламинов Р.Г. 27
21. Иконников Е.А. 222
22. Илалтдинов И.Я. 35
23. Кадебская О.И. 217
24. Казанцева А.С. 237
25. Казымов К.П. 71
26. Калинин К.П. 68
27. Капитанова А.С. 120
28. Карасева Т.В. 120, 128
29. Катаев В.Н. 208, 266
30. Килин Ю.А. 296
31. Ковалёва Т.Г. 257
32. Ковин О.Н. 200
33. Копылов И.С. 3, 281
34. Костарев С.М. 193
35. Костицын В. И. 168
36. Красильников В.П. 123
37. Красильников П.А. 51, 308
38. Красносельских М.И. 261
39. Кузнецова В.А. 96
40. Кулакова Н.В. 181
41. Курдюмова А.С. 131
42. Лаврова Н.В. 217
43. Лучников М. С. 186
44. Максимович Н. Г. 292
45. Меньшикова Е.А. 277
46. Мещерякова О. Ю. 292
47. Миланович П. 292
48. Минькевич И.И. 296
49. Михалев В.В. 42
50. Обернебесов Д.С., 200
51. Оборин В.В. 3, 281
52. Осовецкий Б.М. 61
53. Павлова Е.О. 137
54. Пактовский Ю.Г. 12, 68, 81
55. Паршаков Е. И. 186
56. Патрушев Н.В. 232
57. Перевощикова А.Д. 243
58. Петрова Р.Н. 151
59. Плешков Л. Д. 168
60. Попов А.Г. 18, 106
61. Пузик А. Ю. 71, 77
62. Пыжьянов Ю.Б. 158
63. Рогозин М.В. 42
64. Рыбальченко А.Я 42
65. Степанов Ю.И. 193, 303
66. Сунцев А.С. 88
67. Тюрин И.М. 222, 232
68. Ушакова Е.С. 243
69. Хопта И.С. 128
70. Христенко Л.А. 303
71. Худеньких К.О. 96, 99
72. Худорожкова А.И. 257
73. Чумаков А.В. 71
74. Широбоков В.С. 35
75. Щербаков С.В. 208
76. Яковлев Ю.А. 113

Содержание

Общие вопросы	3
Минералогия, литология, полезные ископаемые.....	61
Геология нефти и газа.....	113
Геофизика, геофизические методы.....	158
Гидрогеология и карст.....	208
Инженерная геология и геоэкология.....	277
Авторский указатель.....	319

Научное издание

Геология и полезные ископаемые Западного Урала

Сборник научных статей
Выпуск 3(40)

Под общей редакцией *П. А. Красильникова*

Выпускается в авторской редакции
Техническая подготовка материала: *П. А. Красильников*

Объем данных 17 Мб
Подписано к использованию 12.05.2020

Размещено в открытом доступе
на сайте www.psu.ru
в разделе НАУКА / Электронные публикации
и в электронной мультимедийной библиотеке ELiS

Издательский центр
Пермского государственного
национального исследовательского университета
614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15