

ПЕРМСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

ГЕОЛОГИЯ И ПОЛЕЗНЫЕ ИСКОПАЕМЫЕ ЗАПАДНОГО УРАЛА

(90-летию геологического факультета
посвящается)

Сборник научных статей
Выпуск 4(41)



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

**ГЕОЛОГИЯ И ПОЛЕЗНЫЕ ИСКОПАЕМЫЕ
ЗАПАДНОГО УРАЛА**
(90-летию геологического факультета посвящается)

Сборник научных статей

Выпуск 4(41)

Под общей редакцией П. А. Красильникова



Пермь 2021

УДК 550.8+622

ББК 26.3

Г36

Геология и полезные ископаемые Западного Урала (90-летию Г36 геологического факультета посвящается) [Электронный ресурс] : сборник научных статей / под общ. ред. П. А. Красильникова ; Пермский государственный национальный исследовательский университет. – Пермь, 2021. – Вып. 4(41). – 22,7 Мб ; 324 с. – Режим доступа: <http://www.psu.ru/files/docs/science/books/sborniki/geologiya-i-poleznye-iskopaemye-zapadnogo-urala-2021.pdf>. – Заглавие с экрана.

ISBN 978-5-7944-3085-1

ISBN 978-5-7944-3666-2 (вып. 4(41))

Сборник содержит научные статьи по докладам 41-й Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, состоявшейся 18 мая 2021 г. на геологическом факультете Пермского госуниверситета. Статьи посвящены геологии западного склона Урала, Камского Приуралья и прилегающих территорий. Рассмотрены общие вопросы геологии, проблемы минералогии, литологии, месторождений твёрдых полезных ископаемых, нефти и газа, а также вопросы геофизических методов исследования недр, гидрогеологии, карстоведения, инженерной геологии, экологической геологии.

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

Посвящается 90-летию геологического факультета!

УДК 550.8+622

ББК 26.3

*Издается 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 978-5-7944-3666-2 (вып. 4(41))

© ПГНИУ, 2021

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ

И.Ю. Митюнина

ПГНИУ, bsg-home@mail.ru

О ПРОБЛЕМАХ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ

Рассмотрены проблемы дистанционного обучения студентов по дисциплинам, связанным с компьютерными технологиями обработки и интерпретации геолого-геофизических данных. Предложены некоторые пути повышения эффективности обучения.

Ключевые слова: дистанционное обучение, компьютерные технологии обработки и интерпретации геолого-геофизических данных, программные продукты

I. Yu. Mityunina

Perm State University, bsg-home@mail.ru

ABOUT THE PROBLEMS OF DISTANCE LEARNING

The problems of distance learning of students in disciplines related to computer technologies for processing and interpreting geological and geophysical data are considered. Some ways to improve the effectiveness of training are proposed.

Key words: distance learning, computer technologies for processing and interpreting geological and geophysical data, software products

В связи с пандемией в весеннем триместре 2019-2020 учебного года студенты геологического факультета были переведены на дистанционный формат обучения. Студенты заочного отделения проходили on-line обучение в течение года, на очном отделении дистанционный формат применялся избирательно. На начальном этапе пандемии дистанционно проводились как лекционные, так и лабораторные занятия, а в дальнейшем - только поточные лекции.

Хотелось бы остановиться на трудностях, с которыми столкнулись преподаватели и студенты при изучении предметов, связанных с компьютерными технологиями обработки и интерпретации геолого-геофизических данных.

Наибольшие сложности возникли при проведении лабораторных занятий. Дело в том, что при выполнении лабораторных работ используется специализированное программное обеспечение (геоинформационная система *ArcGIS*, горно-геологические информационные системы *GEOVIA Surpac* и *Micromine*, система интерпретации *OpendTect* и т.д.), которых нет в свободном доступе, и они не установлены на персональных компьютерах большинства студентов.

В начальный период карантина, весной 2020 года, было невозможно организовать удаленную работу студентов на компьютерах, установленных в аудиториях ПГНИУ, поскольку доступ в корпус был закрыт для всех сотрудников. Возникли трудности и с получением студентами бесплатных временных лицен-

зий программных продуктов. Только компания ООО "Деко-геофизика СК" пошла навстречу и предоставила многим студентам - геофизикам временные лицензии обрабатывающей системы *RadExPro*, за что ей хотелось бы выразить большую благодарность. В подобных условиях студентам пришлось использовать демоверсии и нелегальные программные продукты или кооперироваться с однокурсниками, у которых установлено необходимое программное обеспечение.

Организовать on-line сдачу контрольных точек для всей группы вообще не представлялось возможным. Преподавателю приходилось работать индивидуально с каждым из студентов. Если в аудитории на проведение аттестации по каждой контрольной точке преподавателю было достаточно двух часов, то в дистанционном формате на это требовалось до 8-10 часов. Следует учитывать при этом неудобства, связанные с постоянной загруженностью персонального компьютера преподавателя в течение всего периода тестирования.

Определенные проблемы возникли также при проведении лекционных занятий в режиме видеоконференций, поскольку сервер *Zoom* предоставлял возможность бесплатного использования только в течение 1 часа, а не всей продолжительности лекции. Создание межфакультетского сервера вебинаров ПГНИУ «*Big Blue Button*» позволило устранить этот недостаток и обеспечить качественное проведение лекционных занятий с использованием двусторонней связи между лектором и слушателями. Другое дело, что студенты не всегда пользовались предоставленными возможностями и не участвовали активно в видеоконференциях.

Результаты проведения итогового контрольного мероприятия по ряду дисциплин («Компьютерные технологии в геологии», «Геоинформационные системы в геологии», «Геофизические информационные системы» и т.д.) показывают, что студенты не готовы к переходу на дистанционный формат изучения данных предметов. Дистанционное обучение приводит в целом к снижению уровня профессиональной подготовки студентов геологических специальностей и усугубляет проблемы профессионального образования, отмеченные нами ранее [1].

Для снижения негативных последствий перехода к дистанционному обучению необходимо, на мой взгляд, во-первых, обеспечить студентам при выполнении лабораторных работ удаленный доступ к программному обеспечению, установленному в компьютерных классах ПГНИУ, а, во-вторых, увеличить количество часов лекционных занятий, что позволит преподавателям организовать периодический контроль за усвоением теоретического материала.

Библиографический список

1. Бычков С.Г., Митюнина И.Ю. Состояние топливно-энергетического комплекса России и высшего образования с точки зрения пессимиста // Вопросы теории и практики геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей: Сборник научных трудов. Вып. 1 (46). – Пермь: ГИ УрО РАН, ПГНИУ, 2019. – С. 408-411.
2. Спасский Б.А., Митюнина И.Ю. Первые волны - дополнительный информационный канал. Их обработка и интерпретация // Вестник Пермского университета. Геология. 2007. № 4. С. 106-114.

ВОЗМОЖНОСТИ СОЗДАНИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ БАЗЫ ДАННЫХ В ПРОГРАММЕ GEOVIA SURPAC

Рассмотрены вопросы работы с геологическими базами данных, их создание, импорт-ирование, визуализация. Обоснована необходимость поддержания качества данных на высоком уровне.

Ключевые слова: база геоданных, система управления базой данных, импорт данных, скважины, информация, геология.

I. V. Ogorodova
Perm state University, irinaog@mail.ru

OPPORTUNITIES FOR CREATING A GEOLOGICAL DATABASE IN THE GEOVIA SURPAC PROGRAM

Abstract. The issues of working with geological databases, their creation, import, and visualization are considered. The need to maintain data quality at a high level is justified.

Key words: geospatial database, database management system wells, data import, wells, information, Geology.

Геологическая база данных – один из наиболее важных модулей программы GEOVIA Surpac. Она является основой всех построений и расчетов. В данной статье рассмотрены особенности создания базы данных (БД) Surpac для хранения первичной информации по данным геологической разведки.

Программное обеспечение GEOVIA Surpac использует модель реляционной базы данных (связанные таблицы) и поддерживает несколько различных типов БД: Paradox, Microsoft Access. Программа также поддерживает открытый интерфейс взаимодействия с базами данных (ODBC) и позволяет подключиться по сети к любой реляционной БД.

Создание БД состоит из двух этапов.

1. Создание пустой БД (рис. 1)

При создании базы данных необходимо указать:

а) тип БД (рис. 2);

б) ввести названия и тип дополнительных таблиц БД (рис. 3).

Таковыми таблицами могут быть данные опробования полезного ископаемого, литология, данные геофизических исследований, физико-механические свойства пород и руд, геохимические данные, документации канав, шурфов, буровых скважин и т.д.

Обязательными таблицами в базе данных являются координаты устьев скважин и инклинометрия. Обязательными полями в устье скважин являются поля: название скважины, координаты (X, Y, Z), глубина скважины и траектория ствола скважины. Таблица инклинометрии содержит данные об искривлении

скважин, поэтому обязательными полями в ней являются название скважины, глубина замера, угол наклона скважины к горизонту и азимут горизонтального проложения скважины. Таблица устьев скважин и таблица инклинометрии являются связующим звеном с дополнительными таблицами.

в) следующим шагом будет определение всех полей для всех таблиц (рис. 4). На этом этапе создания БД надо указать названия дополнительных полей таблиц и тип данных, какой будет содержаться в этих полях (буквенные значения, дата и время, дробные цифровые значения). После нажатия кнопки применить пустая БД будет создана.

г) созданную базу можно редактировать как через функцию «Редактирование параметров базы данных» так и напрямую через текстовый файл с расширением «ddb» (рис. 5).

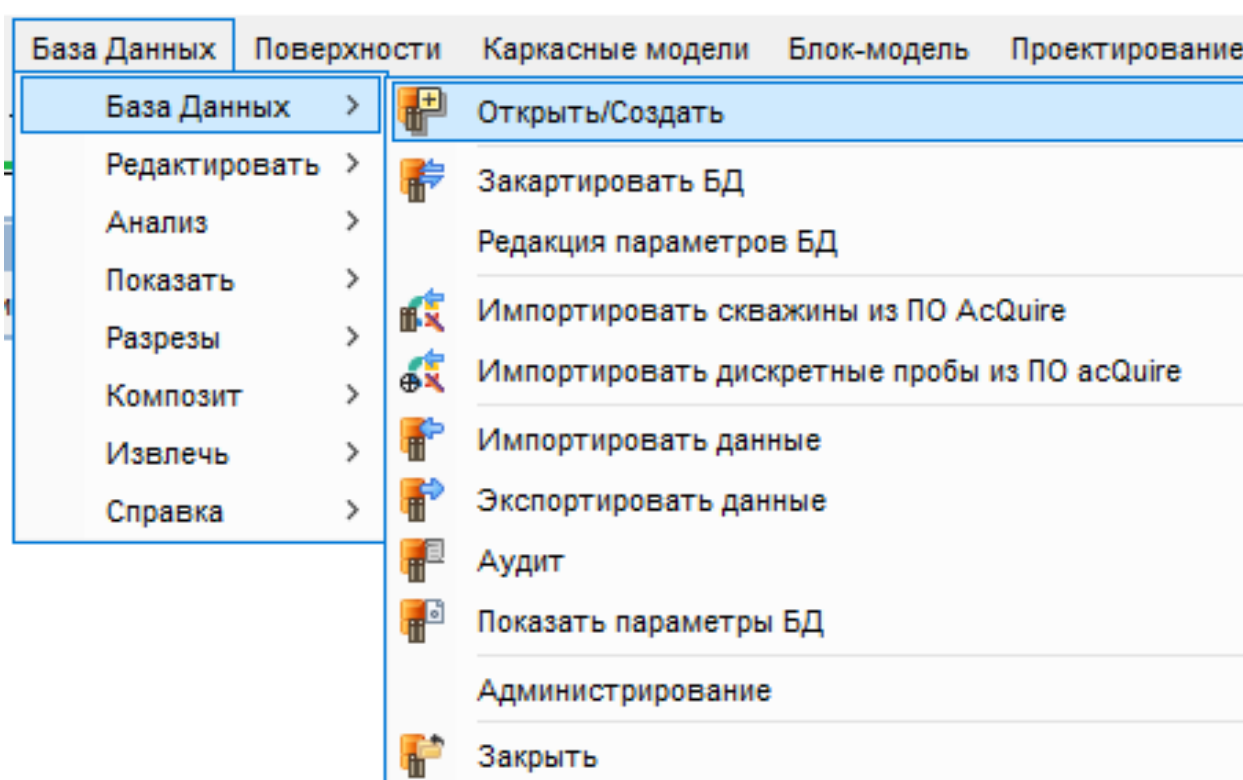


Рис. 1. База данных – создание

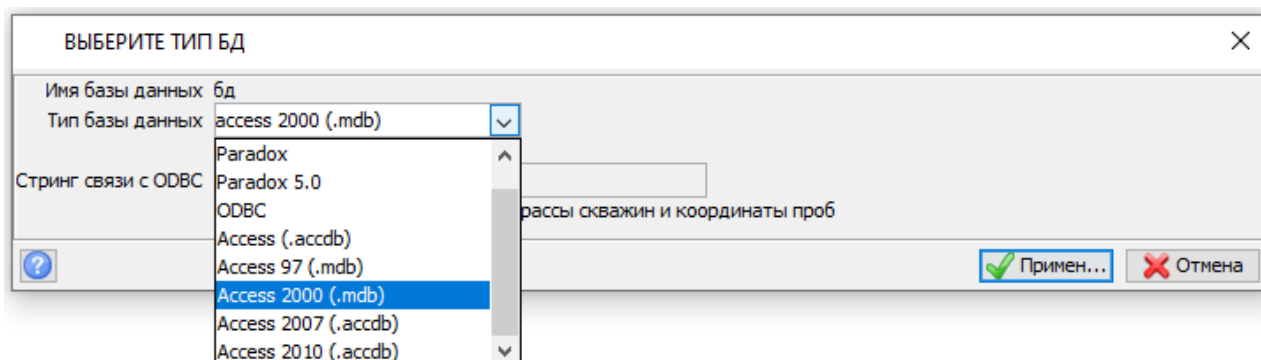


Рис. 2. База данных – выбор типа

ВЫБРАТЬ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ТАБЛИЦЫ ДЛЯ НОВОЙ БД

Имя базы данных бд
 Тип базы данных аксесс2000
 Обязательные таблицы: collar survey translation (устья инклинометрия перевод)

Определите дополнительные таблицы для БД

	Название таблицы	Тип таблицы	Завис. от времени
1	assey	интервал	<input type="checkbox"/>
2	lithology	интервал	<input type="checkbox"/>

Примен... Отмена

Рис. 3. База данных – создание дополнительных таблиц

Определить все поля для всех таблиц

collar survey translation styles assay lithology

Обязательные поля

	Поле	Тип	Пуст.	Индекс	Длина	К-во дес. зн.	Ниж. граница	Верх.
1	hole_id	character	<input type="checkbox"/>	нет	12	0	-999999	999999
2	samp_id	character	<input checked="" type="checkbox"/>	нет	10	0	-999999	999999
3	depth_from	real	<input type="checkbox"/>	нет	7	2	0	999999
4	y_from	real	<input type="checkbox"/>	нет	11	3	-999999	999999
5	x_from	real	<input type="checkbox"/>	нет	11	3	-999999	999999

Необязательные поля

	Поле	Тип	Пуст.	Длина	К-во дес. зн.	Регистр	Ниж. граница	Верх. граница	Физич./Виртуал./Выраж-е	Справ. поле
1	au	веществен.	<input checked="" type="checkbox"/>	10	2	смешанный	0	100	физич.	

Примен... Отмена

Рис. 4. Определение дополнительных полей для таблиц и их редакция

```

бд.ddb – Блокнот
Файл Правка Формат Вид Справка
DATABASE "бд"
TYPE "access2000"
DB_SPECIFIC "directory=C:/Users/PC_1/Desktop"
TABLE collar
  FIELD hole_id
    TYPE character( 12)
    VALIDATION "SSI_edit_style=upper~SSI_length=12"
  FIELD y
    TYPE real( 11, 3)
    VALIDATION "SSI_edit_style=r8~SSI_bounds=-999999 9999999~SSI_decimals=3~SSI_length=11"
  FIELD x
    TYPE real( 11, 3)
    VALIDATION "SSI_edit_style=r8~SSI_bounds=-999999 9999999~SSI_decimals=3~SSI_length=11"
  FIELD z
    TYPE real( 11, 3)
    VALIDATION "SSI_edit_style=r8~SSI_bounds=-999999 9999999~SSI_decimals=3~SSI_length=11"
  FIELD max_depth
    TYPE real( 11, 3)
    VALIDATION "SSI_edit_style=r8~SSI_bounds=0 9999~SSI_decimals=3~SSI_length=11"
  FIELD hole_path
    TYPE character( 8)
    VALIDATION "SSI_edit_style=mixed~SSI_set=;LINEAR;CURVED;VERTICAL;linear;curved;vertical~SSI_length=8"
  ....
  
```

Рис. 5. Возможность редактирования базы данных

2. Импорт данных в существующий файл базы данных (рис. 6).

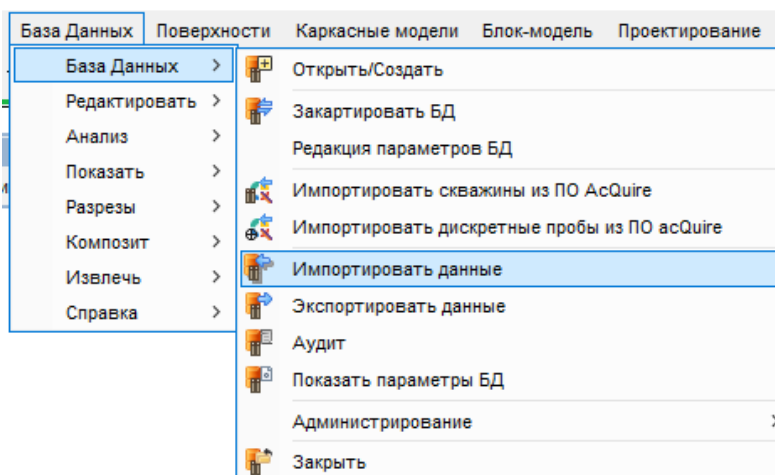


Рис. 7. Импорт данных

Импортировать данные можно из файлов различных форматов (рис. 8).

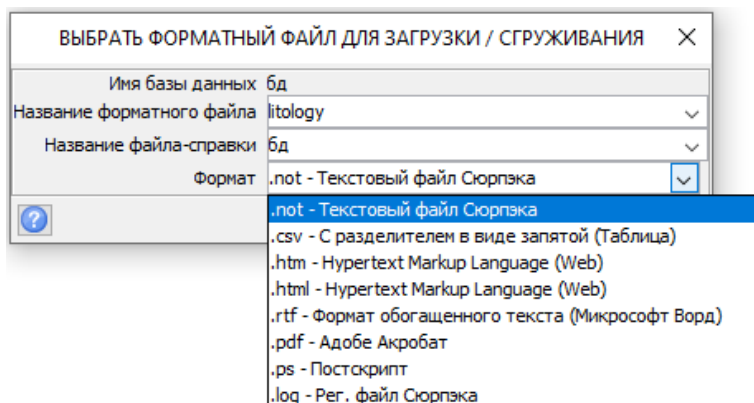


Рис. 8. Выбор форматного файла для загрузки данных

Для минимизации ошибок при импорте данных в первую очередь импортируем таблицу устьев скважин, далее таблицу инклинометрии и, следом, все остальные таблицы. Пример таблицы данных геологического опробования различных полезных ископаемых созданной базы данных приведен на рис. 9.

	hole_id	samp_id	depth_fr...	y_from	x_from	z_from	depth_to	y_to	x_to	z_to	ag	cu	au	s	zn
1	254	1203	70.90	128632.566	412474.436	350.911	72.30	128632.658	412474.461	349.514	44.80	3.00	1.60	26.03	0.01
2	254	1204	72.30	128632.658	412474.461	349.514	73.73	128632.753	412474.486	348.088	35.40	8.34	1.70	35.57	0.01
3	254	1205	73.73	128632.753	412474.486	348.088	74.83	128632.826	412474.506	346.990	15.80	6.20	1.00	51.17	0.01
4	254	1206	74.83	128632.826	412474.506	346.990	76.41	128632.933	412474.535	345.414	21.50	4.07	2.10	42.46	0.01
5	255	1416	176.00	128888.773	412314.994	244.861	176.60	128888.744	412314.928	244.266	7.70	3.32	1.40	25.30	0.01
6	255	1417	176.60	128888.744	412314.928	244.266	177.75	128888.690	412314.800	243.124	7.70	3.70	1.40	24.65	0.01
7	255	1418	177.75	128888.690	412314.800	243.124	178.30	128888.664	412314.739	242.578	7.70	3.41	1.40	23.99	0.01
8	255	1419	178.30	128888.664	412314.739	242.578	178.80	128888.640	412314.683	242.082	7.70	3.48	1.40	21.23	0.01

Рис. 9. Фрагмент таблицы данных геологического опробования

После создания БД есть множество различных вариантов визуализации базы данных согласно заданным стилям (рис. 10). Объектом для визуализации

может быть литология, содержание полезного компонента, метки. Для числовых данных, таких, как содержание полезного компонента, можно для наглядности изображать вдоль ствола скважины графики различных типов. Графики, так же, как и значения содержаний, показываются на экране в соответствии с цветовой гаммой, определенной пользователем заранее.

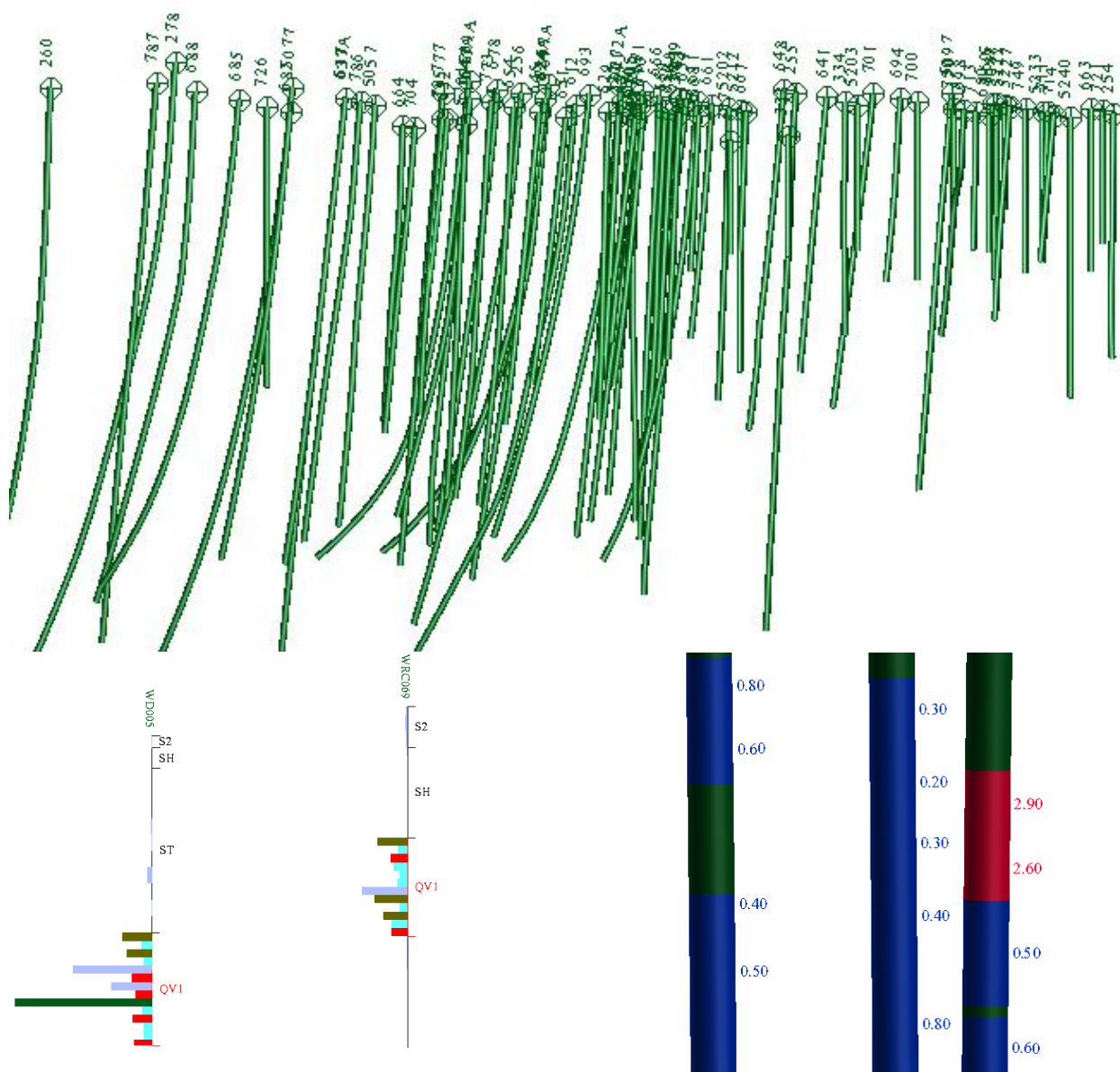


Рис. 10. Визуализация скважин в трехмерном пространстве

После формирования базы данных можно воспользоваться полезными функциями получения различных справок из базы данных, такими как: справка по скважине, список скважин, сводка по устьям скважин, сводка по таблицам БД, литологическая колонка, извлечение плана скважин и т.д.

Созданная база данных в дальнейшем будет использована для выделения и оконтуривания рудных и нерудных интервалов по данным литологии, расчета композитов для уточнения рудных интервалов по значениям бортового содержания, уточнения границ пространственного размещения пород.

Состояние геологических баз данных оказывает непосредственное влияние на построение геологических моделей и мониторинг разработки месторождений. Направление работы с базами данных нельзя считать побочным или второстепенным в разработке месторождений, оно играет ответственную роль качественных данных.

Библиографический список

1. Рыкова В.В., Лукьянова Е. И. Создание научного задела для формирования новых информационных ресурсов (на примере проблемно ориентированных баз данных геологической тематики) // Библиосфера. — 2010. — № 4. — С. 61–64.
2. Закревский К. Е. Оценка качества 3D моделей. — М.: ООО «ИПЦ Маска», 2008. — 272 с.
3. Алмамедов Я.Л., Серебрякова О. А. Формирование геологической модели и создание базы данных геологической и технологической информации // Геология, география и глобальная энергия. — 2012. — № 4 (47). — С. 075–081.
4. Исаева В.И., Косыгин В.Ю. Трехмерность объектов при интерпретации данных высокоточной гравиразведки // Вестник Пермского университета. Геология. 2012. № 1 (14). С. 34–41.

ФЛЮИДИЗАТНО-ЭКСПЛОЗИВНЫЕ СТРУКТУРЫ ЗАПОВЕДНИКА «ВИШЕРСКИЙ» И ИХ ВЛИЯНИЕ НА РАСТИТЕЛЬНЫЕ СООБЩЕСТВА

В процессе космогеологических исследований и геоструктурометрического анализа космоснимков, фито- и биоиндикации в местах с высокой геодинамической активностью были установлены линейные и спирально-кольцевые разнопорядковые структуры с размерностью от первых десятков метров до десятков километров. Они фрактальны как в геологической среде, так и в растительном мире, где найдены кольцевые группировки растений и деревьев. Выяснилось, что их появление, а также образование деревьев-рекордсменов приурочено к малым геоактивным зонам шести типов размерами от 1 до 55 м. Вероятно, они имеют одинаковую энергетическую природу со структурами, открытыми Ю. И. Фивенским и зарегистрированными в качестве научного открытия, как «малые кольцевые структуры рыхлых отложений земной коры». На этих зонах, а также на геохимических аномалиях обнаружены растительные феномены: 1) популяция-феномен берёзы карликовой (*Betula nana* L.) с очень высокой плотностью растений; 2) кольцевые структуры из чемерицы Лобеля (*Veratrum lobelianum* Bernh.), папоротника щитовника мужского (*Dryopteris filixmas* L.) и других многолетников; 3) деревья-рекордсмены кедра сибирского (*Pinus sibirica* DU TOUR) и ели сибирской (*Picea obovata* Ledeb.); 4) крупные деревья на скальных обнажениях при минимуме почвы, где её объём в десятки раз меньше, чем на равнине; 5) цепочки и кольцевые образования из деревьев в редкостойных лесах на болотах и в подгольцовом поясе.

Ключевые слова: геоструктурометрический анализ, флюидизатно-эксплозивные структуры, малые кольцевые структуры, геоактивные зоны, древостой, структура фитоценоза.

PHLLUIDISATE-EXPLOSIVE STRUCTURES OF THE VISSCHER RESERVE AND THEIR IMPACT ON PLANT COMMUNITIES

In the process of cosmogeological research and geostructural analysis of satellite images, phyto- and bioindication in places with high geodynamic activity were established linear and spiral-ring multi-order structures with dimensions from the first tens of meters to tens of kilometers. They are fractal both in the geological environment and in the vegetation world, where ring-like groupings of plants and trees were found. It turned out that their appearance, as well as the formation of record-breaking trees is confined to small geoactive zones of six types with sizes from 1 to 55 m. They probably have the same energetic nature as the structures discovered by Yu.I. Fivensky and registered as a scientific discovery as "small ring structures of loose earth crust sediments". On these zones, as well as on geochemical anomalies, plant phenomena have been discovered: 1) a population-phenomenon of dwarf birch (*Betula nana* L.) with very high plant densities; 2) ring structures of Lobel's hellebore (*Veratrum lobelianum* Bernh.), male shield fern (*Dryopteris filixmas* L.) and other perennials; 3) record trees of Si-

berian cedar (*Pinussibirica* DU TOUR) and Siberian spruce (*Piceaobovata*Ledeb.); 4) large trees on rock outcrops with a minimum of soil, where its volume is dozens of times less than on the plain; 5) chains and ring formations of trees in sparse forests on bogs and in the subalpine belt.

Key words: geostructural analysis, fluidized-explosive structures, small ring structures, geoactive zones, forest stands, phytocenosis structure.

С 2014 по 2020 гг. на территории заповедника «Вишерский» ежегодно проводились геологические, геохимические, геодинамические и геоботанические исследования [1, 3, 4, 5].

При проведении геологических работ были использованы традиционные космогеологические исследования (КГИ) и инновационная технология геоструктурометрического анализа (ГСМА) космических снимков (КС) на основе их обработки программным модулем GSM-tools.

Комплексирование методов позволило обнаружить неизвестные спирально-кольцевые структуры с размерами от первых метров до десятков-сотен километров. Спиральные разломы, контролирующие эти структуры, определяют места локализации малых геоактивных (МГА) зон. На этих зонах установлена их связь с уникальными растительными и ландшафтными объектами [7].

Инновационная технология разработана на основе научного открытия № 02-д/02 «Малые кольцевые структуры (МКС) рыхлых отложений земной коры»: "...экспериментально выявлены неизвестные ранее множественные, со сплошным покрытием земной поверхности, кольцевые природные образования малого размера (единицы – сотни метров), создаваемые естественным излучением планеты и проявляющиеся в рыхлых отложениях земной коры на фоне сейсмоакустических волн» [10].

Естественные, постоянно возникающие сейсмоакустические волны Земли, при движении из недр к поверхности, проходя через стратифицированные, литологически и фациально разнородные осадочные толщи с разной акустической жесткостью отражаются от геолого-геофизических разделов неоднородностей и центров сейсмоакустического возмущения в форме конуса, формируя в рыхлых отложениях приповерхностной литосферы сложную интерференционную картину перекрывающихся МКС, число которых на 1 км² суши может достигать 6–10 тыс. [11, 12].

На основе программного модуля GSM-tools, встроенного в интерфейс пакета ArcGis, производится вычисление фокальных статистик распределения яркости пикселей в кольце фиксированного радиуса для каждой точки анализируемого космоизображения, что позволяет выявлять МКС разного диаметра и по ним вычислять глубину дифрагирующих неоднородностей горного массива. На основе геоструктурометрического анализа можно распознавать объекты геологического свойства: литолого-фациальные границы, дизъюнктивные и пликативные дислокации, флюидоподводящие каналы, зоны предполагаемого нефтегазонакопления [2]. Эта технология применяется и при поиске месторождений алмазов [9].

На основе геоструктурометрического плана (рис. 1) отдешифрованы структурные элементы Лыпинской флюидизатно-эксплозивной структуры

(ФЭС) на площади 1800 км² [4, 5]. Информация по ней была опубликована в монографии [7].

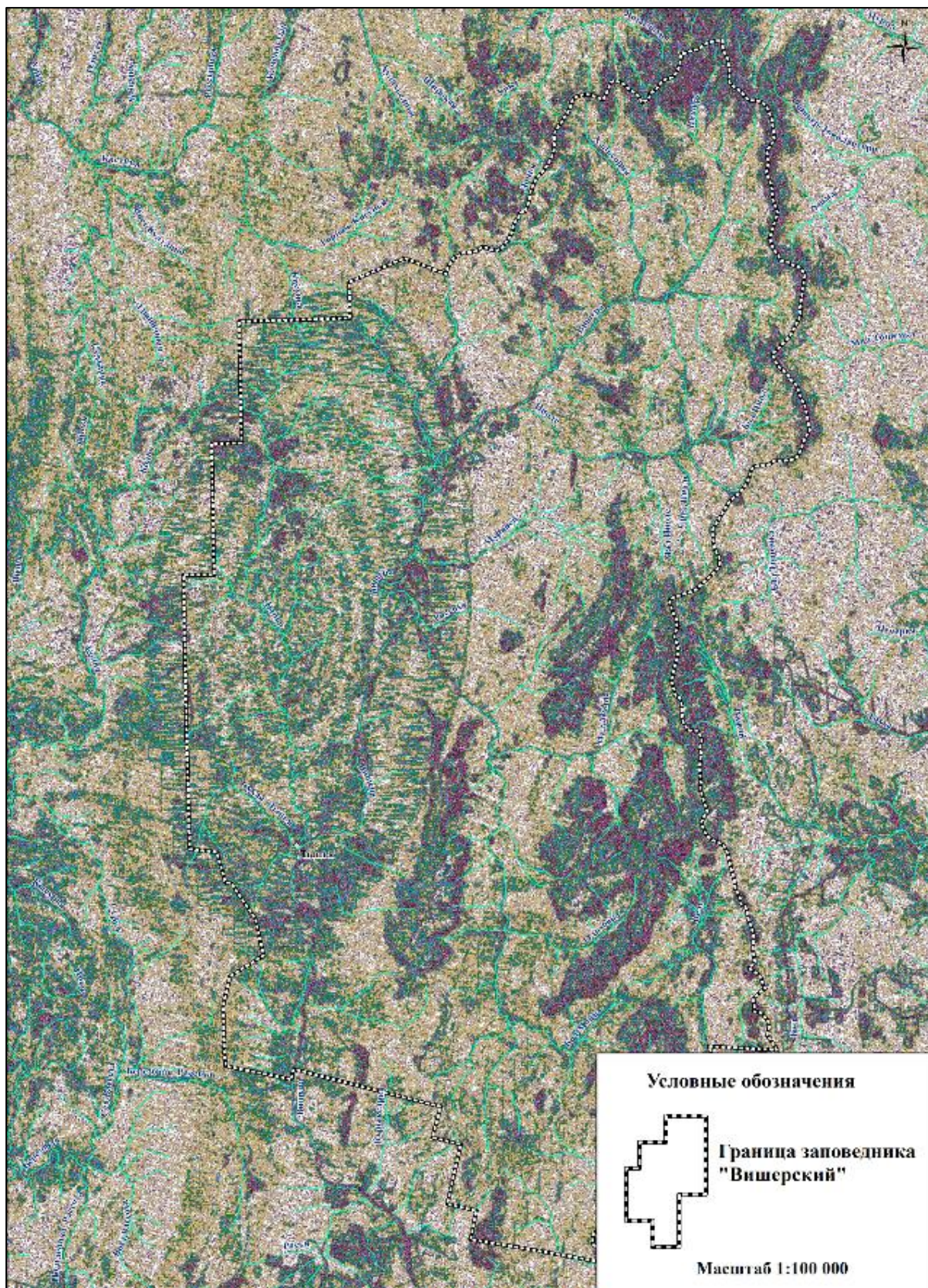


Рис. 1. Геоструктурометрический план- срезка Лыпинской ФЭС по глубине 700 м

Центр выявленной кольцевой спиральной структуры расположен в истоках р. Лыпя в 9,5 км к юго-западу от устья ручья Муравей. Площадь исследований в районе г. Мунин-Тумп полностью попадает в зону влияния северо-восточного и восточного секторов Лыпинской структуры [4,5]. Форма структуры эллипсоидная и осложнена внутренними концентриками, ориентировка оси структуры субмеридианальная. Диаметр внутренних концентриков структуры варьирует в пределах от 1 км до 25 км. Внешние концентры имеют диаметр от 35 до 100 км.

Расстояния между главными флюидоконтролирующими разломами варьируют от 200–500 м до 2000–2500 м, они осложнены субпараллельной системой более мелких разломов нескольких генераций. Контуры Лыпинской ФЭС на севере, востоке и западе выходят за пределы Пермского края; ее площадь в 7 раз превышает площадь заповедника «Вишерский» (2423 км²) и составляет 17350 км².

Генезис этой мегаструктуры может быть обусловлен конвективными течениями в мантии с формированием флюидно-магматических колонн, поступательно-вращательное, ударно-пульсирующее продвижение которых к поверхности сопровождается формированием систем глубинных флюидоконтролирующих спирально-кольцевых разломов центриклинального падения [5].

По возрасту это долго живущие геологические объекты, заложившиеся на разных этапах тектонической активизации и наиболее активно развивающиеся в неоген-четвертичный этап рифтогенной активизации, что обуславливает возможность их выделения дешифрированием КС и ГСМ планов.

Флюидоконтролирующие разломы (рис. 2) представляют собой линейную, дуговую, кольцевую или спиральную глубинную зону тектонической деструкции и проницаемости горного массива, испытывающую сдвиги-сбросы, раздвиговые и ротационные деформации разной направленности и интенсивности проявления. В неоген-четвертичное время разломы являлись подводящими каналами для внедрения интрузивных пирокластитов, даек основных и щелочно-ультраосновных магматитов, палеогидротерм, подземных вод и глубинных газов различного состава.

Флюидоконтролирующие разломы – это открытые долгоживущие дизъюнктивные системы, геодинамически активные на современном этапе развития Земли [5].

На исследуемой территории и её обрамлении площадью порядка 300 км² по результатам геоструктурного дешифрирования космоснимков выделено 135 малых спирально-кольцевых структур III-XII порядков (рис. 2).

В целом эти нарушения отображают активизированные в новейшее время зоны трещинно-разрывных структур осадочного чехла и фундамента. Четкая индикация таких структур в строении осадочного чехла на космоснимках обусловлена возрождением неотектонических движений и, соответственно, активизацией эрозионно-аккумулятивных процессов в контактовых частях активизированных блоков и структур.

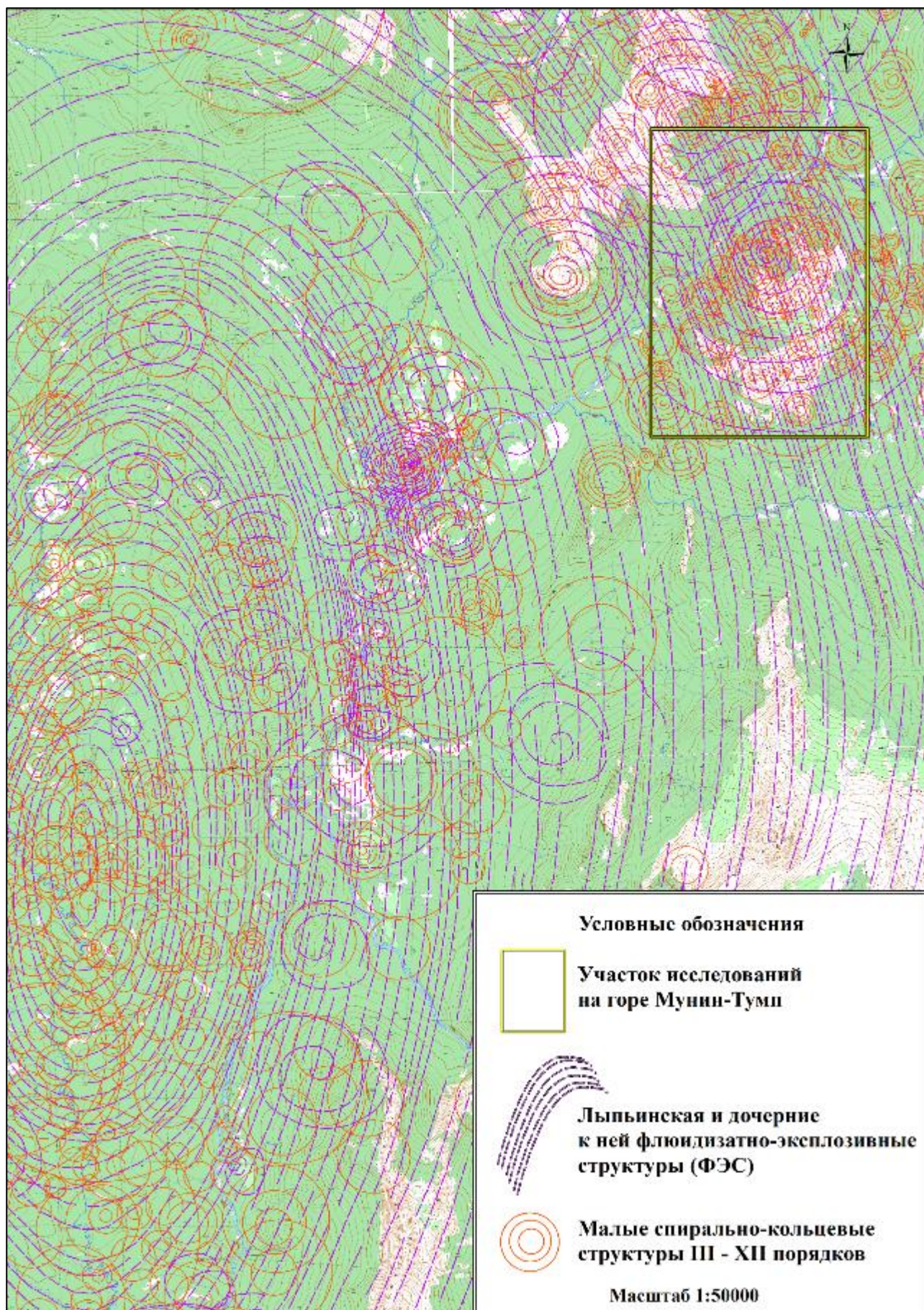


Рис. 2. Лыпинская и дочерние к ней флюидизатно-эксплозивные структуры

Из дочерних Лыпинской ФЭС выделяется спирально-кольцевая структура «Озерная», расположенная в междуречье рр. Вишера и Лопья (рис. 3). К ней приурочено 47 озер [4].

По генезису озера структуры «Озерная» могут быть отнесены к озерам зон флюидно-газовой (парово-газовой) продувки, о чем свидетельствует наличие на северном борту озера Кедровое единичных воронок диаметром до 3 м и глубиной до 2,5 м, оконтуренных валом высотой до 1 м, выброшенного при извержении (продувке) апопеплового и песчано-глинистого материала. Судя по высоте и диаметрам деревьев в воронке возраст локальной активизации ФЭС, извержения и формирования воронки не превышает 60-100 лет, т.е. ультра современный [4].

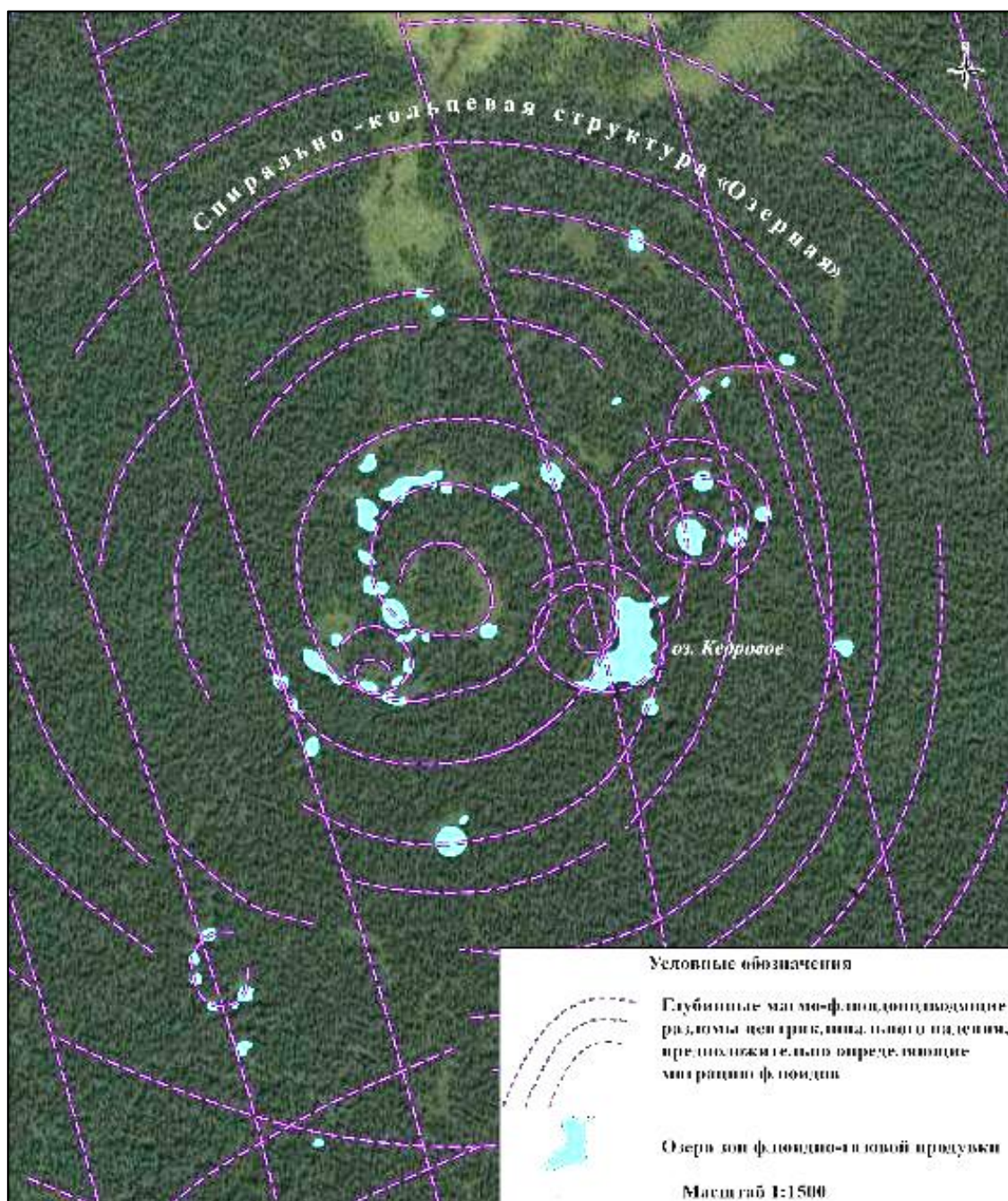


Рис. 3. Озера зон флюидно-газовой продувки в междуречье рр. Вишера и Лопья, приуроченные к разломам спирально-кольцевой структуры «Озерная»

В центре спирально-кольцевой структуры «Озерная» расположен уникальный ландшафтный объект – озеро Кедровое (рис. 4).



Рис. 4. Цепочка из старых кедров по берегу озера Кедровое трассирует один из спиральных флюидоподводящих разломов структуры «Озерная»

Прибрежную зону озера окаймляет «ожерелье» из 200-летних кедров, что усиливает ландшафтную и эстетическую привлекательность водоёма. Старые кедры живописно растут по периметру озера на расстоянии 15–25 м друг от друга, трассируя спирально-кольцевой разлом, опоясывающий озеро. Такое равношаговое расположение деревьев обусловлено их локализацией на малых геоактивных зонах размером 16 и 32 м, на которых обычно встречаются самые крупные деревья кедров сибирского [6,7].

Озеро Кедровое – самое крупное из всех в этой структуре. Озеро имеет извилистую дуговидную форму, ориентированную в субмеридиональном и юго-западном направлениях. Протяженность озера составляет 120 м, ширина изменяется от 15 до 60 м. Берега озера низкие, не превышающие 2,0–2,5 м над урезом воды, пологие до обрывистых в приразломных участках, сложены песчано-глинистым (возможно апотуфовым) материалом, местами поросшие ивняком, голубичником, березой и осокой. Переход от зеркала воды к береговому склону обрывистый высотой до 1,0–1,5 м.

Также привлекают внимание концентры Лыпинской ФЭС на северо-востоке Пермского края, где они почти идеально трассируют р. Хальсория и верховья р. Вишера (рис. 5).

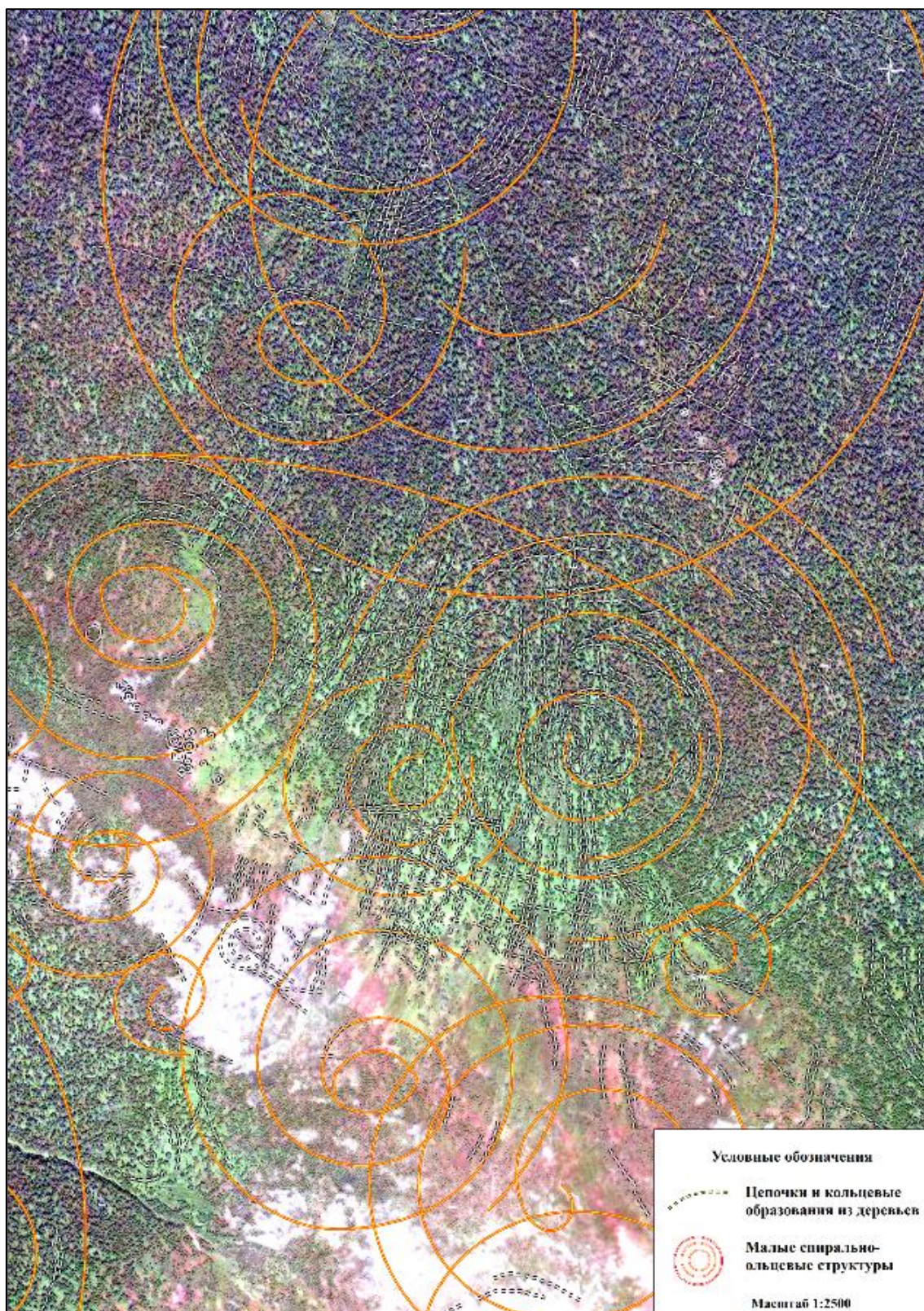


Рис. 6. Цепочки и кольцевые образования из деревьев на склонах горы Муни-Тумп

Эти растительные группы большей частью представляют собой своеобразные лентовидные полосы шириной 10–15 м и протяженностью 30–70 м, состоящие из 5–10 видов древесной растительности (береза, ивы 2–3 видов, кедр, ель, пихта, рябина, можжевельник). Ширина прогалин между лентовидными полосами растительности составляет 10–30 м. В предгорной части склона протяженность лентовидных полос древесной растительности увеличивается до 150–

500 м, что свидетельствует о более благоприятных условиях для их роста. Всего на исследуемой территории площадью 25 км² было отдешифрировано 1203 линейных и кольцевых «лент» древесных растительных сообществ [5]. Максимальная концентрация малых кольцевых структур VI–XII порядков (фрагментарно выделяющихся ленточно-кольцевыми группами растительности) отмечается в контурах приподнятых полукольцевых блоков шириной 1,1 км и 2,7 км, развитых на удалении 0,8–1,9 и 2,9–5,6 км от центра спиральной структуры.

Маршрутные исследования на склонах г. Мунин-Тумп подтвердили наличие линейных и кольцевых лентовидных многовидовых групп древесной растительности и выявили их приуроченность к тектоническим нарушениям, что фиксируется как в обнажениях, так и на космоснимках (см. рис. 6).

В условиях других лесорастительных зон также выяснилось, что биогруппы и крупные деревья в древостоях всегда были локализованы на так называемых «малых геоактивных зонах» (МГА-зонах) шести типов размером от 1 до 55 м, которые определялись биолокационным методом. В результате этих исследований, часть которых опубликована [7], растительные феномены заповедника были разделены на пять классов.

Первый класс феноменов. К нему была отнесена пока единственная популяция карликовой (*Betula nana* L.) с аномально высокой плотностью растений на единице площади, где её заросли покрывали до 90% территории. Популяция находится исключительно в контуре комплексной геохимической аномалии по более чем 15 элементам на горе Мунин-Тумп (рис. 7).



Рис. 7. Уникальная по плотности популяция березы карликовой на площади 10 га в контуре геохимической аномалии на горе Мунин-Тумп

В других местах на плато горы Мунин-Тумп, а также на прилегающих хребтах Лопьинский Камень, Муравьиный Камень и в долине р.Вишера берёза карликовая в таком изобилии больше не встречалась.

Второй класс феноменов – кольцевые структуры из многолетних растений, в частности, чемерицы Лобеля (*Veratrum lobelianum* Bernh.) и папоротника ши-

товника мужского (*Dryopteris filixmas* L.). Они обнаружены на восточном склоне хребта Лопьинский камень, а также на северном склоне горы Мунин-Тумп в подгольцовом поясе среди редколесья (рис. 8).



Рис. 8. Кольцевая биограмма папоротника в поясе редколесья

Третий класс феноменов – деревья-рекордсмены. Их достаточно много, но особо выделяются 400-летний кедр сибирский (*Pinus sibirica* DU TOUR) с периметром ствола 420 см на хребте Лопьинский Камень высотой 29 м и растущая на Мойвинском кряже ель сибирская (*Picea obovata* Ledeb.) высотой 34 м и диаметром 66 см. Они обнаружены на склонах крутизной 10–15° на маломощной щебнистой почве. Размеры этой ели практически не уступают максимальным высотам деревьев ели вблизи г. Пермь (35–36 м), находящихся в 430 км южнее, в подзоне южной тайги.

Четвертый класс феноменов – деревья на скальных обнажениях. Особенно впечатляют повсеместно встречающиеся деревья кедра на плоских вершинах камней-останцев, а также на скалах по р. Вишера. Они настолько привычны как часть ландшафта, что мы даже не задаемся вопросом, почему же деревья смогли там вырасти вообще – при минимуме доступной почвы, где её объём в десятки раз меньше, чем на равнине. Фотографии деревьев-рекордсменов и деревьев на скалах здесь не показаны, но приведены в нашей монографии [7].

Пятый класс феноменов – цепочки и кольцевые образования из деревьев в подгольцовом поясе г. Мунин-Тумп, которые контролируются разрывными нарушениями. На космоснимках высокого разрешения (рис. 9) по фототону растительного покрова хорошо заметно чередование прогалин с мочажинами и возвышенных участков с цепочками деревьев.



Рис. 9. Приуроченность лентовидных полос древесной растительности к диагональным и спиральным системам разломов кольцевых структур на северном склоне г. Мунин-Тумп

Анализируя локализацию перечисленных растительных феноменов, сделано заключение, что они сформировались на МГА-зонах, которые контролируются линейными и спирально-кольцевыми разломами разнопорядковых геоструктур.

В связи с этим можно предположить, что кольцевые структуры Ю. И. Фивенского [11,12] и благоприятные МГА-зоны с размерами от 1 до 55 м имеют идентичную энергетическую основу и поэтому их можно определять биолокационным методом, используя для фитоиндикации крупные деревья и кустарники, их био группы и цепочки.

По-видимому, через флюидизатно-эксплозивные структуры, разломы разного генезиса и МГА-зоны проявляет себя глубинный энергопоток Земли, который усиливает «клавиши продуктивности» в геноме деревьев. В таком случае мы подходим к явлениям уже другой науки – геофитоценологии, как науки более высокого ранга, где есть место взаимодействию генотипов с энергиями Земли и включению-выключению у них в результате такого взаимодействия «спящих» генов ДНК. Кольцевые разнопорядковые и линейные разломы, по-видимому, контролируют ориентацию сетей из МГА-зон, определяя также их структуру и миграцию [6]. На этих зонах, кроме уникальных растительных и ландшафтных феноменов, зафиксирована также во много раз более высокая грунтовая всхожесть лесных семян и выживаемость растений при дефиците тепла, что становится крайне важным в условиях климатических изменений [8].

Таким образом, космогеологические и геоструктурометрические исследования в сочетании с биолокационным анализом, фито- и биоиндикацией можно использовать на других территориях России для целенаправленного поиска новых природных феноменов и понимания причин их появления.

Библиографический список

1. Отчет о НИР. Разработка комплекта геолого-геоморфологических моделей на территорию Государственного природного заповедника «Вишерский» (рук. работ Михалев В.В.). Пермь: ООО «АНДИ». 2014. 46 с.
2. Отчет о НИР. Комплекс космогеологических и геоструктурометрических исследований лицензионных участков ООО «ЛУКОЙЛ-ПЕРМЬ» с целью поиска перспективных объектов на нефть и газ (рук. работ Михалев В.В.). Пермь: ООО «АНДИ». 2015. 50 с.
3. Отчет о НИР. Изучение современного состояния природных сообществ в районе прохождения экологического маршрута «Тулымское кольцо» и оценка влияния геодинамических активных зон на состояние природных сообществ на участке севернее ручья Муравей (рук. работ Михалев В.В.). Пермь: ООО «АНДИ». 2018. 33 с.
4. Отчет о НИР. Оценка влияния Лыпинской флюидоконтролирующей структуры на состояние природных сообществ в районе урочища Лебяжий плёс (рук. работ Михалев В.В.). Пермь: ООО «АНДИ». 2019. 34 с.
5. Отчет о НИР. Оценка степени влияния эндогенных геологических факторов на состояние природных растительных сообществ в бассейне верхнего течения р. Вишера. (рук. работ Михалев В.В.). Пермь: ООО «АНДИ». 2020. 36 с.
6. *Рогозин М.В., Копылов И.С., Красильников П.А.* Биологический аспект геодинамических активных зон // Геология и полезные ископаемые Западного Урала. 2017. № 17. С. 223–227.
7. *Рогозин М.В., Михалев В.В., Рыбальченко А.Я.* Лесные экосистемы и факторы неотектоники [Электронный ресурс]: монография. Пермский государственный национальный исследовательский университет. Пермь, 2020а. 22,2 Мб. 249 с.
8. *Рогозин М.В., Михалев В.В., Рыбальченко А.Я.* Использование геоактивных территорий для лесовыращивания // Геология и полезные ископаемые Западного Урала [Электронный ресурс]: сборник научных статей/ под общ. ред. П.А. Красильникова. Пермь: ПГНИУ, 2020б. Вып. 3(40). С. 42–50.
9. *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.
10. *Фивенский Ю.И.* Малые кольцевые структуры рыхлых отложений земной коры / Научное открытие. Диплом ОТП РАН № 02-д/02 от 22.10. 2002.
11. *Фивенский Ю.И.* Использование материалов аэрокосмических съёмок для изучения земной коры // Геодезия и картография. 2006. №1. С. 44–52.
12. *Фивенский Ю.И.* Инвариантность феномена малых кольцевых структур по отношению к физической среде рекреационной системы // Труды II Международной научно-практической конференции «Туризм и рекреация». М.: РИБ «Турист», 2007. С. 115–120.
13. *Блинов С.М., Хмурчик В.Т., Абдуллин Ш.Р., Щукова И.В.* Комплексное исследование субаквальных карстовых источников заповедника "Вишерский". // Вестник Пермского университета. Геология. 2008. № 10. С. 111–123.
14. *Караваева Т.И., Тихонов В.П.* Оценка состояния природной среды при инженерно-экологических изысканиях по функциональным характеристикам биогеоценозов // Вестник Пермского университета. Геология. 2016. № 2 (31). С. 91–99.

ТИПЫ ПРОТОЛИТОГЕНЕЗА НА ТЕРРИТОРИИ ПЕРМСКОГО КРАЯ

На территории Пермского края в течение геологического времени имели место различные типы литогенеза. Начало формированию осадочных толщ было положено рифто-генно-синеклизным эффузивно-осадочным типом литогенеза рифея и венда, который начался в Камской мегазоне, продолжился в Тиманской и Центрально-Уральской и закончился осадконакоплением на всей территории края. Процесс происходил циклично.

Ключевые слова: типы литогенеза, эффузивно-осадочный, гумидный, аридный, ледовый литогенез, Пермский край, осадочный чехол.

R. G. Iblaminov, Yu. G. Paktovsky, A. Yu. Puzik

Perm State University, riaminov@psu.ru

TYPES OF PROTOLITHOGENESIS IN THE PERM TERRITORY

Various types of lithogenesis have occurred in the Perm Territory during geological time. The formation of sedimentary strata was initiated by the rift-syneclise effusive-sedimentary type of Riphean and Vendian lithogenesis, which began in the Kama megazone, continued in the Timan and Central Uralian megazones, and ended with sedimentation throughout the territory of the region. The process was cyclical.

Key words: types of lithogenesis, effusive-sedimentary, humid, arid, ice lithogenesis, Perm Krai, sedimentary cover.

Геологическое строение Пермского края определяется положением его на стыке трех крупных региональных структур: Восточно-Европейской древней платформы, Печоро-Баренцевоморской метаплатформенной области и Уральской герцинской складчатой области (Милановский, 1996). Восточно-Европейская платформа характеризуется наличием архейско-раннепротерозойского складчатого фундамента, ее восточная окраина занимает западную и центральную часть территории региона. Печоро-Баренцевоморская метаплатформенная область, отличающаяся позднепротерозойским рифейско-вендским фундаментом, заходит на территорию области лишь своей пограничной юго-восточной частью. Уральская складчато-аккреционная область своей западной северо-среднеуральской частью занимает восточную треть территории региона (рис. 1). Платформенную часть Пермского края мы относим к *Камской мегазоне*, которая выделена в пределах одноименной пологопадающей на юго-запад моноклинали, образуемой верхнепермскими отложениями, которую наметил П.А. Софроницкий [14]. Восточнее Камской последовательно располагаются Предуральская, Западно-Уральская и Центрально-Уральская мегазоны.

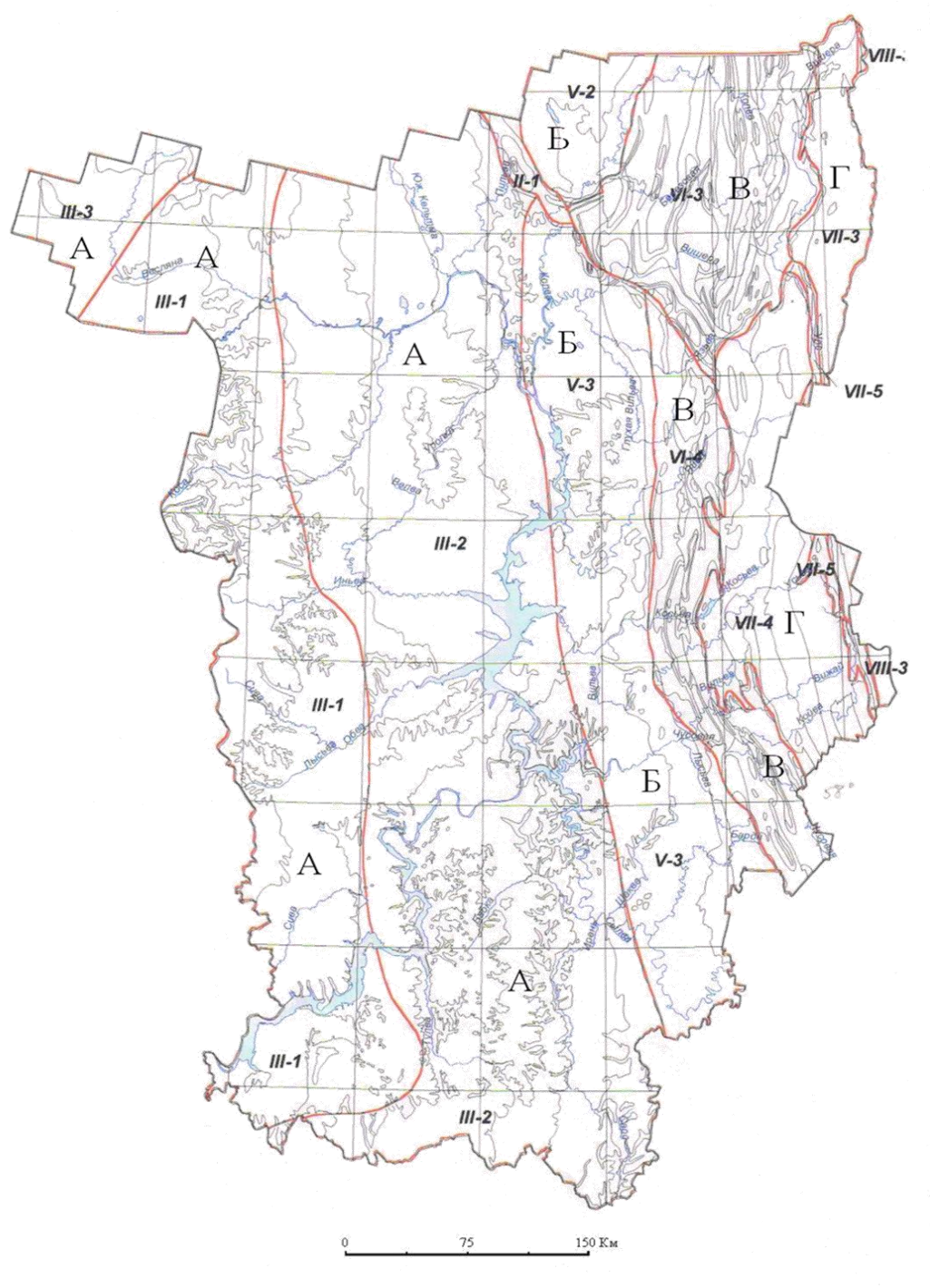


Рис. 1. Схема районирования территории Пермского края (составлена на тектонической основе, разработанной ФГУП «Геокарта-Пермь»). Тектонические структуры. II – Тиманская антеклизы: II-1 – Вычегодско-Колвинский мегавал; III – Волго-Уральская антеклизы: III-1 – Верхнекамская мегавпадина, III-2 – Камско-Башкирский мегасвод, III-3 – Юго-Восточный склон антеклизы; V – Предуральский краевой прогиб, мегавпадины: V-2 – Большесынинско-Верхнепечорская, V-3 – Уфимско-Соликамская; VI – Западно-Уральская внешняя зона складчатости, структуры: VI-3 – Щугорско-Вишерская, VI-4 – Кизеловско-Дружининская; VII – Центрально-Уральское поднятие, мегантиклинорий: VII-3 – Ляпинско-Кутимский, VII-4 – Кваркушко-Каменногорский; VII-5 – Улсовско-Висимский мегасинклинорий; VIII – Тагильско-Магнитогорский прогиб: VIII-3 – Тагильский мегасинклинорий. Мегазоны: А – Камская, Б – Предуральская, В – Западно-Уральская, Г – Центрально-Уральская

Пермский край претерпел длительную историю в своём геологическом развитии. В результате сформировались мощные толщи осадочных пород, составляющие чехол Русской плиты и Уральской складчатой области. Возникла территория на которой присутствуют платформенные и причленённые к ним геосинклинальные образования.

В процессе формирования осадочных пород на территории существовали различные климатические и вулканические условия, среди которых вслед за Н.М. Страховым [15] намечаются четыре типа литогенеза: эффузивно-осадочный, ледовый, гумидный и аридный. В пределах каждого из типов могли иметь место начальная стадия седиментогенеза, затем диагенеза, катагенеза и метагенеза. Полный набор стадий прошли осадочные породы основания осадочного чехла протерозойского возраста. Палеозойские толщи претерпели катагенез, мезозойские толщи прошли стадию диагенеза. Только в четвертичных образованиях можно наблюдать результаты процесса седиментогенеза и его отдельных этапов: мобилизации вещества, переноса и осадкообразования.

Фундамент территории Пермского края сложен преимущественно породами эмбриональной тектоники плит мезонеоархея (AR_{2-3}). Это отражается в преобладании в фундаменте субширотных геологических структур, фиксирующихся чередованием аномалий магнитных и гравитационных полей, которые указывают на наличие в фундаменте гранит-зеленокаменных областей, характерных для средне-позднеархейской мегаэпохи [16].

В течение следующей *палеопротерозойской* мегаэпохи (PR_1 , карелий) территория края, по-видимому, находилась в протократонных условиях. Об этом могут свидетельствовать исследования А.В. Маслова [12], которые показали, что состав терригенных пород рифея Волго-Уральской области сформировался в основном за счет размыва примитивных архейских субстратов.

В начале последовавшей мегаэпохи внутриплитной тектоники мезонеопротерозоя (PR_{2-3} : RF_{1-2} ; $RF_3 - V$), точнее в раннем рифее (RF_1), в развитии земной коры имела место стадия рифтогенеза, которая во второй половине мезопротерозоя (среднем рифее, RF_2) и в неопротерозое (позднем рифее и венде, $RF_3 - V$) сменилась авлакогеновой [17]. Произошли расколы фундамента с образованием внутриконтинентальных рифтов, начался рифейско-триасовый (Вегенеровский) мегацикл Вилсона.

Бурзянская эпоха литогенеза (RF_{1-2})

В рифтах-авлакогенах осадочный чехол формировался за счёт отложений рифея и раннего венда. На территории Пермского края осадочные породы нижнего рифея (1650 – 1350 млн лет назад) присутствуют на юго-востоке в Калтасинском прогибе Русской плиты [3]. Они начинаются базальной **терригенной красноцветной** формацией прикамской (RF_{1prk}) свиты мощностью (h) до 2000 м, (табл. 1) на которой залегает ещё более мощная **морская карбонатная** формация с доломитами калтасинской (RF_{1klt}) свиты (h до 5600 м) Завершает разрез нижнего рифея **терригенно-карбонатная формация** надеждинской (RF_{1nd}) свиты (h до 300 м) [2]. Таким образом, в течение раннего рифея в Калтасинском

бассейне происходила смена трансгрессивной тектонической обстановки осадконакопления инундационной и регрессивной прибрежно-морской. Регрессия привела к сокращению бассейна и смещению последовавшего среднерифейского осадконакопления на крайний юг Пермского края, где разрез рифея завершает **пестроцветная карбонатно-терригенная** формация гожанско-седашской (RF_{2g+s}) свиты (h до 350 м), которая завершает мезопротеройский цикл (PR_2) осадконакопления.

Наличие красноцветов в начале разреза, карбонатов с доломитами в середине и пестроцветных толщ в конце свидетельствует о господстве в бассейне аридного типа литогенеза, который сопровождался кратковременными проявлениями магматизма с образованием толщ габбро-долеритов.

Таблица 1. Распределение геологических формаций по мегазонам и этапам раннего и начала среднего рифея

Этап	Мегазона								
	Кам- ская	Преду- раль- ская	Мощ- ность м; обста- новка	Тиманская, зона Полюдов- ская	Мощ- ность м; обстанов- ка	Центрально-Уральская, зоны			
						Ляпинско- Кутимская	Мощ- ность м; обста- стано- вка	Квар- куш- ско- Камен- ногор- ская	Мощ- ность м; обста- стано- вка
Ранне- байкаль- ский	Пестроцветная карбонатно-терригенная гожанско-седашская (RF_{2g+s})		350. Эмерсивная	Карбостромовая нижнерассольнинская RF_{2gs_1} (доломиты и известняки)	120. Трансгрессивная	Карбостромовая мойвинская RF_{2mv} (мраморы со строматолитами)	Трансгрессивная		
Поздне- бурзянский	Терригенно-карбонатная надеждинская (RF_{1nd})		300. Регрессивная						
Средне- бурзянский	Морская карбонатная с доломитами калтасинская (RF_{1klt})		5600. Инундационная						
Ранне- бурзянский	Базальная терригенная красноцветная прикамская (RF_{1prk})		2000. Трансгрессивная						

Продолжающийся подъём территории привёл к завершению Бурзянского цикла, начавшегося в раннем рифее и завершившегося в среднем, и перерыву осадконакопления в позднем рифее и раннем венде на юго-востоке платформенной части края в Калтасинском прогибе.

Благодаря развитию заложенных на Восточно-Европейском кратоне в раннем рифее горячих точек, примером которого может быть Калтасинский бассейн, в среднем рифее усилилась тектоническая активизация востока Европейского континента, располагавшегося на архейском фундаменте Восточно-Европейского кратона [11].

В пределах западного склона Урала (в современных координатах) сформировалась Восточно-Европейская Протоуральская глобальная внутриконтинентальная рифтовая система, подобная Восточно-Африканской. Она протягивалась через весь континент, а в настоящее время наиболее отчетливо фиксируется в виде линейной мегазоны на Южном и Северном Урал, точнее от Верхнекусинско-Зилаирского мегасинклинория до Кваркушско-Каменногорского мегантиклинория.

Развитие Протоуральской рифтовой системы вероятно началось с Южного Протоурала, где возраст саткинской свиты и контактирующей с ней расслоенной Кусинской интрузии оценивается в 1379 ± 8 млн лет, а секущих её гранитов – 1353 ± 16 млн лет [18], что соответствует концу нижнего рифея. Система постепенно мигрировала в сторону Среднего Протоурала, где она, по-видимому, прошла между Кваркушско-Каменногорской и Улсовско-Висимской структурами, а затем привела к раскрытию Печорской структуры с образованием Печоро-Баренцевоморского палеоокеана.

В Пермском крае породы, относимые к среднему рифею, обнажаются в Полудово-Колчимской структуре на юге Тимана и в Верхнепечорско-Кутимском антиклинории на Северном Урале. Обе названные структуры развивались на архейском фундаменте. В них начинается байкальский литогенез, связанный с раскрытием Печорского палеоокеана.

Осадочные формации байкальской эпохи распространены преимущественно в Центрально-Уральской мегазоне [5].

Раннебайкальский этап позднерифейской эпохи представлен циклическим рядом формаций среднего и верхнего рифея, сформировавшимися в условиях рифтогенного тектонического режима, приведшего к раскрытию Печорского палеобассейна.

В Европейском борту Печорского палеоокеана на южном окончании Тимана в Полудово-Колчимской структуре разрез протерозоя начинается с нижнерассольнинских (RF₂ rs₁) мраморизованных карбонатов (доломиты и известняки), которые можно отнести к **карбостромовой формации**, распространённой в противоположном борту бассейна [10] (табл. 2).

Основная верхнерассольнинская (RF₃ rs₂₋₅) часть разреза, сложена аркозовыми песчаниками, сменяющимися алевролитами и аргиллитами. Она может быть сопоставлена с аркозами нижеишеримской подсвиты **фалаховой формации**.

Переход к вышележащей **карбостромовой** дёминско-низьвенской (RF₃ dm, pz) толще доломитов и строматолитовых известняков осуществляется через глинистые известняки, содержащие туфы базальтоидов дресвянского (τβRF₃?dr) комплекса **базальт-долеритовой формации**.

Таблица 2. Распределение геологических формаций по мегазонам и обстановкам среднего и позднего рифея

Этап	Мегазона							
	Кам- ская	Преду- раль- ская	Тиманская, зона Полю- довская	Мощ- ность м; обста- новка	Центрально-Уральская, зоны			
					Ляпинско- Кутимская	Мощ- ность м; обста- ста- новка	Кваркушско- Каменногорская	Мощ- ность м; обста- новка
Раннебайкальский					<i>Базальт- долеритовая вёлсовская</i> (β $RF_3?$ vl)		<i>Трахибазальтовая</i> (<i>tb</i> RF_3) <i>формация: щегро- витский</i> (τ - $\tau\beta$ RF_3 sg)	900. Эмер- сивная
					Ишеримский?		<i>Гарибуржит- ортопироксенит- норитовая</i> (<i>ирт</i> RF_3) <i>формация: Сарановский габбро-анортозит- дунит-гарибуржитовый</i> ($\nu\sigma$ - η RF_{3sr}) комплекс	
					Фалаховая ишеримская RF_3 is (Пет- ров: RF_2)		Фалаховая: <i>усьвинская</i> RF_{3us} (включена терри- генная ослянская и низ разреза вильвенской)	1200. Регрес- сивная
			<i>Кар- бостромо- вая низьвен- ская</i> RF_{3nz}	1320. Регрес- сивная			Переходносланцевая вулканогенная: федо- товская RF_{3fd}	1490. Инунда- цион- ная
			<i>Кар- бостромо- вая: дёмин- ская</i> RF_{3dm}	300. Инунда- ционная			Базальт-риолитовая (<i>br</i> RF_3) <i>формация: фе- дотовский</i> ($\beta\lambda$ RF_{3fd})	
			<i>Базальт- долерито- вая</i> (<i>bt</i> $RF_3?$): <i>дре- свянский</i> ($\tau\beta$ $RF_3?$ dr)				Переходносланцевая вулканогенная федо- товская RF_{3fd} (объедине- на с кырминской и включает першинскую)	Инунда- цион- ная
			Фалаховая: верхнерас- сольнинская RF_{3rs2-5}	830. Транс- грессив- ная		2060.	Карбостромово- сланцевая клыктанская $RF_3 kl$	1200. Транс- грес- сивная
			Карбостро- мовая ниж- нерассоль- нинская RF_2 rs_1 (долами- ты и извест- няки)	120. Транс- грессив- ная.		RF_2mv +mr 2500		
					Переходно- сланцевая муравьиная RF_2mr			
Позднебурзянский	Пестроцвет- ная карбонат- но-терри- генная гожанско- седашская (RF_{2g+s})				Карбостро- мовая мой- винская RF_2 mv (мраморы со стромато- литами)	Транс грес- сив- ная		

На противоположном европейскому борту Печорского бассейна (Верхнепечорско-Кутимская зона) видимый осадочный разрез начинается со строматолитовых мраморов мойвинской свиты ($RF_2\text{ mv}$), относимой к карбостромовой формации среднего рифея, переходящей в сланцевую муравьинскую ($RF_2\text{ mr}$) свиту, содержащую прослои песчаников, доломитов со строматолитами [1], которые сменяются мощной толщей ишеримской ($RF_3\text{ is}$) свиты фалаховой формации.

В Кваркушско-Каменнолгорской зоне, расположенной южнее непосредственно во внутриконтинентальной рифтовой системе разрез начинает карбостромово-сланцевая формация. Она представлена клыктанской ($RF_3\text{ kl}$) свитой, которая сменяется федотовской ($RF_3\text{ fd}$) свитой переходносланцевой формации.

Последняя отличается от формаций описанных выше регионов наличием толщи вулканитов бимодальной *базальт-риолитовой* ($br\text{ } RF_3$) формации, характерной для внутриконтинентальных рифтов. Имеет место инундация, связанная с раскрытием рифтовой системы. Инундация сменяется регрессивной обстановкой, обусловленной заполнением депрессии терригенными осадками бортов рифта и частичной коллизией. Происходит накопление пород усьвинской ($RF_3\text{ us}$) свиты фалаховой формации, свидетельствующее об общем поднятии территории. На поверхность изливаются субщелочные магматиты щегровитского ($\tau\text{-}\tau\beta\text{ } RF_3\text{ sg}$) комплекса, а на глубине в связи с поднятием астеносферного клина формируется расслоённый комплекс гипербазитов Сарановского ($\upsilon\sigma\text{-}\eta\text{ } RF_3\text{ sr}$) комплекса.

В Кваркушско-Каменногорской зоне развитие раннебайкальского этапа началось с трансгрессивной обстановки накопления клыктанской сланцево-карбонатной свиты мощностью (h) до 650 м. Вышележащая федотовская свита (h до 1150 м) углисто-серицит-кварцевых сланцев содержит в средней части разреза базальт-риолитовый комплекс. Состав осадков свидетельствует о восстановительных условиях осадконакопления и инундационной тектонической обстановке. Наличие в усьвинской свите (h 1180 м) более грубообломочных пород даёт основание считать обстановку её образования регрессивной. Завершается разрез рифея вулканогенной щегровитской свитой, в её нижней части (h 820 м) преобладают базальты, андезибазальты и андезиты, иногда с подушечной отдельностью, в верхней 80-метровой толще присутствуют умеренно-щелочные породы: трахибазальты, трахиандезибазальты, трахиандезиты, трахиты, латиты наземного облика. Литолого-петрографические особенности пород щегровитской свиты свидетельствуют о переходе территории от регрессивной к эмерсивной обстановке.

Наличие углистых пород в породах этапа свидетельствует о существовании гумидного климата, в условиях которого имел место эффузивно-осадочный тип литогенеза.

Анализ распределения осадочных последовательностей трёх структурно-формационных зон, окружающих южное окончание Печорской плиты позволяет сделать вывод о следующем чередовании формаций осадочных пород: кар-

бостромовая ($RF_2 rs_1, mv, RF_3 kl$) → переходно-сланцевая ($RF_2 mr, RF_3 fd$) → фалаховая ($RF_3 rs, is, us$) → карбостромовая ($RF_3 dm, nz$). Нарушение цикличности отмечается в Полюдовской зоне, где отсутствует сланцевая и присутствуют две толщи карбостромовой формации. Вопросы вызывают и датировки возраста формаций. Последние данные Г.А. Петрова, указывают на среднерифейский возраст пород ишеримской свиты. Они позволяют удревнить оценки возрастов пород фалаховой формации и нижележащих последовательностей (см. табл. 2). Общим поднятием территории и наземным вулканизмом заканчивается поздне-рифейский раннебайкальский цикл осадконакопления, в котором имели место аридный и гумидный прибрежный типы литогенеза с локальным наложением м вулканогенно-осадочного.

Таблица 3. Распределение геологических формаций по мегазонам и этапам нижнего венда

Этап	Мегазона							
	Кам- ская	Преду- ральская	Тиманская, зона Полюдовская	Мощ- ность м; обста- новка	Центрально-Уральская, зоны			
					Ляпин- пин- ско- Кутим- тим- ская	Мощ- ность м; обста- новка	Кваркушко- Каменногорская	Мощ- ность м; обста- новка
84. Сред- не- бай- каль- ский	Пестроцвет- ная терри- генная песча- но-глинистая веслянская (V_{lvs})		Прибрежно- морская тер- ригенная пес- чано-аргилли- товая ильваж- ская (V_{liv} , Сп. кр.) (красно- цветная с глау- конитом)	900. Инунда- цион- ная			Прибрежномор- ская терригенная песчано- алевроаргиллитовая углистая фосфори- тоносная бутонска- яская (V_{lbt} , Сп. сер.) (черносланце- вая с фосфоритом восстановительная)	400. Инунд- аци- онная
			Прибрежно- морская тер- ригенная чуро- чинская ($V_{lčr}$, Сп. кр.) (тил- литы, глауко- нит, доломиты)	1500. Транс- грессивная			Прибрежно- морская терриген- но-карбонатная ла- гунная гаревско- койвинская (V_{lgr} , Сп. сер.; kv Сп.кр.) (алевролит- аргиллитовой с из- вестняками и доло- митами)	760 транс- грессив- ная
			Континен- тально- прибрежная терригенная тиллитовидная устьчурочин- ская (V_{luc} , Сп.кр.) (вулка- ногенная тил- литовидная с доломитами)	420. Эмер- сивно- транс- грессивная			Континентально- прибрежная терри- генная тиллитовид- ная вильвинско- таннинская V_{ltn} , vl . Сп. сер.	560. Эмер- сивно- транс- грессив- ная

Среднебайкальский этап ранневендской эпохи характеризуется породами нижнего венда (табл. 3), распространенными в Кваркушко-Каменногорской структуре, где они на юге протягиваются полосой западнее рифейской части разреза, а в северной половине занимают практически всю территорию (Язьвинско-Косьвинский моноклинорий и Кваркушко-Басегский антиклинорий). Отметим, что вендские отложения развиты там, где Кваркушко-Каменногорской антиклинорий лежит на фундаменте Печорской плиты [6]. С названного антиклинория породы венда протягиваются на Тиманскую структуру (Полюдово-Колчимское поднятие), а севернее в соседнем Верхнепечорско-кутимском антиклинории они отсутствуют. Это может быть объяснено продолжением развития депрессии Европейского борта Печорского океана, о чём свидетельствует его фундамент, тогда как Восточный борт бассейна был приподнятым и располагался на архейском фундаменте.

Среднебайкальский этап фиксируют осадочные породы венда, который начинается танинская свита (h до 560 м) трансгрессивными базальными породами: тиллитовидными конгломератами с прослоями песчаников и алевролитов. Среди обломков присутствуют хромититы сарановского комплекса. Песчано-глинистый состав вышележащей гаревской свиты (h 520 м) и перекрывающей её койвинской (h 200 – 250 м) алевролит-аргиллитовой с пелитоморфными известняками и доломитами характеризует продолжение трансгрессии и переход к мелководной лагунной обстановке. Инундация наступила в бутонское время, осадки которого представлены углистыми алевроаргиллитами с прослоями песчаников (h 300 – 400 м). Бассейн, по-видимому, был замкнутым, достаточно глубоководным и характеризовался не только восстановительными условиями, но и повышенными содержаниями фосфора. Завершает разрез нижнего венда керноская свита (h 470 м). Её нижняя наибольшая по мощности часть представлена фосфатоносными песчаниками, а верхняя – карбонатно-вулканогенными породами. Она фиксирует переход от инундационной обстановки к регрессивной и эмерсивной с наземными излияниями. Перечисленные толщи среднебайкальского этапа образуют спарагмитовую формацию [10].

Вулканогенные породы объединены в дворецкий гиаломеланефелинит-трахибазальтовый комплекс. Определения абсолютного возраста Rb-Sr методом по трахиандезитам дали 559 млн л., а Sm-Nd – 568 млн л., что отвечает границе нижнего и верхнего венда. Дворецкий комплекс входит в состав щелочно-ультрамафитовой формации раннего венда.

В течение среднебайкальского этапа произошла рифтогенная тектономагматическая активизация региона с образованием характерной ассоциации магматических горных пород.

Наличие в разрезе тиллитов указывает на существование холодного климата и ледового типа литогенеза, который сменялся умеренным гумидным, а нарастание вулканизма – к увеличению роли эффузивно-осадочного литогенеза.

На платформенной части Пермского края (Камская мегазона) нижний венд после значительного перерыва начинается веслянская (V_{Ivs}) свита пестроцветной терригенной песчано-глинистой формации [7].

Таблица 4. Распределение геологических формаций по мегазонам и этапам верхнего венда

Этап	Мегазона							
	Кам- ская	Преду- раль- ская	Тиманская, зона Полюдов- ская	Мощ- ность м; обста- новка	Ляпин- ско- Кутим- ская	Мощ- ность м; обста- новка	Центрально-Уральская, зоны Кваркушко- Каменногорская	Мощ- ность м; обста- новка
Позднебай- кальский	Эмерсивный рубеж кем- брийско- нижнедевон- ский						Молассовая грубо- обломочная усть- сылвицкая (V_2 us. (Флишоидно- молассоидная. Шли- ровая)	350. Ре- грессивн- эмерсив- ная
500. Регрессивная	Пестроцвет- ная терри- генная глини- сто-песчано- алевритовая краснокам- ская (V_2krs)						Морская терриген- ная мелкообломоч- ная чернокаменная (V_2 ск. Флишоидно- молассоидная. Шли- ровая) (аргиллиты, алевролиты, песча- ники))	1700. Регрес- сивная По Цир- кону: 557+37
314. Инундационная	Морская песчано- алеврито- глинистая вёлвинская (V_2vl)						Прибрежноморская терригенная перева- локская (V_2 pr. Сп. кр., зел Шлировая) (слюдистые алевро- литы, остатки орга- ностенных организ- мов)	300. Инунда- ционная (подвод- ная дель- та)
380. Трансгрессивная	Прибрежно- морская вул- канокласто- алеврито-гли- нистая вер- ещагинская (V_2vr)						Континентально- прибрежная терри- генная тиллитовид- ная старопечнинская (V_2 sp, Сп. кр. ро- вая)(тиллитовидные конгломераты, пес- чаники, алевролиты, аргиллиты)	200. Транс- грессив- ная (под- водная дельта)
200. Эмерсивная	Континен- тальная гру- бообломочная кыквинская (V_2kk) (кон- гломерато-пе- счано-алеври- товая)		Эмерсив- ный рубеж кембрийский Долерит- пикритовая V_2ck-V_2us				Щелочно-ультра- мафитовая форма- ция (ufV_1) дворецкий гяломеланефели- нит-тра- хибазальтовый ($\tau\beta V_1$ dv) комплекс	Rb-Sr: 559; Sm- Nd: 568 (V_2/V_1)
		Прибрежно- морская терригенная песчаная кочешорская ($V_2k\check{c}$, Сп. кр.)	1700. Регрес- сивная				Прибрежно- морская терригенно- карбонатно- вулканогенная керноская (V_2kr , Сп. сер.) (фосфатонесные песчаники, карбона- ты, вулканиты)	470. Регрес- сивная

Позднебайкальский этап начинается старопечнинская свита (h 200 м), которая, как и вышележащие, относится к верхнему венду. Она сложена тиллитовидными конгломератами, алевролитами, аргиллитами и мелкозернистыми песчаниками, которые характеризуют трансгрессивную обстановку. Следующая, перевалокская свита (h 300 м), состоящая из слюдистых алевролитов и аргиллитов с многочисленными остатками органостенных организмов, характеризует более глубоководную инундационную обстановку. По мнению Д.В. Гражданкина [4], осадконакопление в старопечнинское и перевалокское время происходило в условиях подводной илистой равнины.

Чернокаменная свита (h 800 – 1700 м), представленная чередованием аргиллитов, алевролитов, песчаников, может отражать регрессивную обстановку. Определения по туфовым цирконам абсолютного возраста пород показали 557+37 млн. лет, что соответствует верхнему венду. Завершает разрез венда усть-сылвицкая свита (h 350 м) песчаников с грубой слоистостью, присутствие которых может указывать на продолжение регрессивной обстановки. Осадконакопление, по мнению А.В. Маслова с коллегами, протекало в условиях продельтового фронта. После этого наступает эмерсивная обстановка, о которой свидетельствует стратиграфический перерыв между вендом и палеозоем.

В новейших исследованиях вся толща верхнего венда отнесена к шлировой формации, которую в России предложил выделять В.Е. Хаин [17] как нижнюю морскую молассу. Накопление шлировой формации в позднем венде протекало в дистальных обстановках Мезенского Предтиманского предгорного палеобассейна [4].

В конце байкальской эпохи произошло закрытие рифта и поздневендские образования старопечнинской, перевалокской, чернокаменной и устьсылвицкой свит (V_2 sp, pr, sk, us) уже в условиях плитного режима перекрыли рифтогенные образования.

Таким образом, в течение неопротерозоя территория Западного Урала развивалась циклично. Существовали три мегацикла: позднерифейский, когда накопился циклический ряд фалаховых, переходносланцевых и карбостромовых формаций общей мощностью около 3880 м, ранневендский цикл с накоплением спарагмитовой формации – 2125 м, поздневендский с накоплением шлировой формации – 2100 м. Последняя прослеживается по всей северо-восточной окраине Русской плиты.

Важной особенностью разреза неопротерозоя Центрально-Уральской области является наличие в ней вулканогенных пород. В позднем рифее инундационной обстановке наибольшего опускания соответствует бимодальный базальт-риолитовый федотовский комплекс. Эмерсивной обстановке конца первого мегацикла отвечает интенсивный андезит-базальтовый магматизм с образованием вначале нормально-щелочных, а в конце умеренно-щелочных пород (щегровитский трахибазальт-базальтовый комплекс).

В раннем венде вулканические образования завершают процесс осадконакопления и приурочены к регрессивной и эмерсивной обстановкам завершения цикла. Образуется дворецко-кусинская вулканоплутоническая ассоциация (по

С. Суслову), основу которой составляет дворецкий гиаломеланефелинит-трахибазальтовый комплекс.

В породах верхнего венда вулканический материал присутствует в виде прослоев туфовой составляющей.

Завершается байкальская эпоха общим поднятием территории и формированием кор выветривания.

Очевидно, что в начальной стадии формирования бассейна преобладал коровый риолитовый магматизм, который к концу рифейского мегацикла сменился мантийным базальтоидным, а затем при завершении ранневендского цикла – щелочным с явным глубинным мантийным источником [9].

Породы рифея и нижнего венда имеются и на платформе в Камской мегазоне, где они приурочены к авлакогенам. Породы верхнего венда покрывают территорию сплошным чехлом, все они перекрыты мощным чехлом палеозойских пород. Таким образом, анализ геологической истории развития региона показывает, что каждая минерагеническая область Пермского края отличается не только по составу находящихся в ней горных пород, их возрасту и по типу литогенеза.

Библиографический список

1. *Алексеев В.Я., Морозов Г.Г.* Стратиграфия рифея и палеозоя территории заповедника Вишерский. Геология и минеральные ресурсы Западного Урала: Тез. докл. науч. конф. / Перм. гос. ун-т. Пермь. 1993. С. 19 – 20.
2. *Белоконь Т.В., Горбачев В.И., Балашова М.М.* Строение и нефтегазоносность рифейско-вендских отложений востока Русской платформы. Пермь: ИПК "Звезда", 2001. 108 с.
3. *Геология и полезные ископаемые России. Т. 1. Запад России и Урал. Кн. 1. Запад России* / ред. Б.В. Петров, В.П. Кириков. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2006. 528 с.
4. *Гражданкин Д.В., Маслов А.В., Крупенин М.Т., Ронкин Ю.Л.* Осадочные системы сыльвицкой серии (верхний венд Среднего Урала) / УрО РАН. Екатеринбург, 2010. 280 с.
5. *Ибламинов Р.Г., Алванян А.К.* Региональная минерагения общераспространенных полезных ископаемых (на примере Пермского края): монография / Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2018. 120 с.
6. *Ибламинов Р.Г., Гершанок В.А., Пактовский Ю.Г.* Влияние фундамента на геологическое развитие Западного Урала (Пермский край) // Геология и полезные ископаемые Западного Урала: сб. ст. / под общ. ред. П.А. Красильникова; Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2019. Вып. 2 (39). С. 9–15.
7. *Ибламинов Р.Г., Лебедев Г.В.* Геология и полезные ископаемые Коми-Пермяцкого автономного округа. Кудымкар: Коми-Пермяцкое кн. изд-во, 1995. 136 с.
8. *Ибламинов Р.Г., Лебедев Г.В.* Вулканические комплексы магматических формаций западного склона Среднего и Северного Урала // Литосфера. 2006. № 1. С. 76–90.
9. *Ибламинов Р.Г., Сулов С.Б.* Сарановский комплекс: региональное положение, палеотектоника // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении. Научные чтения памяти П.Н. Чирвинского: сб. науч. ст. / Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2015. Вып. 18. С. 145–153.
10. *Курбацкая Ф.А.* К вопросу о методике выделения осадочных формаций Западного Урала и металлогенической оценке их перспективности // Вестник Пермского ун-та. 1997. Вып. 4. Геология. С. 27 – 30.
11. *Лебедев Г.В., Ибламинов Р.Г.* Критерии прогнозирования алмазоносных магматитов в условиях западного склона Северного и Среднего Урала // Проблемы минералогии, петро-

графии и металлогении: Материалы науч. конф. «Чтения памяти П.Н. Чирвинского» Пермь: Изд-во Пермского ун-та, 1999. С. 111–115.

12. *Маслов А.В.* Литогеохимия терригенных пород верхнего докембрия Волго-Уральской области / УрО РАН. Екатеринбург. 2012. 248 с.

13. *Милановский Е.Е.* Геология России и ближнего зарубежья (Северной Евразии): учебник. М.: Изд-во МГУ, 1996. 448 с.

14. *Софроницкий П.А., Ожгибесов В.П.* Тектоника пермской системы // Международный конгресс: Пермская система земного шара / Путеводитель геологических экскурсий. Ч. III. Свердловск, 1991. С. 13 – 16.

15. *Страхов Н.М.* Основы теории литогенеза. М.: Изд-во АН СССР, 1962. Т. I. 212 с.

16. *Чадаев М.С., Ибламинов Р.Г., Гершанок Л.А., Гершанок В.А., Простолупов Г.В.* Геологические структуры западного склона Северного и Среднего Урала по данным гравиметрии и магнитометрии // Литосфера. 2011, № 6 с. 134 – 140.

17. *Хаин В.Е., Ломизе М.Г.* Геотектоника с основами геодинамики: учебник. М.: Изд-во МГУ, 1995а. 480 с.

18. *Холоднов В.В., Шагалов Е.С.* Верхний и нижний возрастные рубежи среднерифейских рудоносных (Ti-Fe-V) интрузий кусинско-копанского комплекса на Ю. Урале: U-Pb датирование цирконов Медведевского месторождения. *ДАН*. 2012. 446(4), 432–437.

**В.Н. Голдырев, В.А. Наумов, С.Б. Коврижных,
И.В. Ощепкова, К.С. Макаров**
ПГНИУ, г. Пермь, vg121297@yandex.ru

РЕСУРСНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ЗОЛОТА ПОЛУДЕНСКОЙ ТЕХНОГЕННОЙ РОССЫПИ (ЗАПАДНЫЙ УРАЛ)

Изучены техногенные образования, возникшие в результате отработки Полуденского месторождения россыпного золота. Проведены полевые и лабораторные исследования и анализ ранее проведенных работ. Определены типы, ресурсный потенциал, а также перспективы отработки техногенно-минеральных образований (ТМО). Выделены наиболее первоочередные участки для организации дополнительных работ по переоценке россыпного потенциала золота в россыпи и ТМО.

Ключевые слова: Урал, Вишерско-Висимская депрессия, Полуденская россыпь, Промысла, техногенно-минеральные образования, техногенные россыпи, золото

**V.N. Goldyrev, V.A. Naumov, S.B. Kovrizhnykh,
I.V. Oschepkova, K.S. Makarov**
Perm State University, Perm, vg121297@yandex.ru

RESOURCE POTENTIAL OF GOLD OF THE POLUDENSKAYA TECH- NOGENIC PLACER (WESTERN URALS)

The technogenic formations resulting from the mining of the Poludensky placer gold deposit were studied. Field and laboratory studies and analysis of previous work were carried out. The types, resource potential, and prospects of mining technogenic-mineral formations (TMF) are determined. The most priority areas have been identified for the organization of additional work on the revaluation of the placer potential of gold in placers and TMO.

Keywords: Ural, Vishersko-Visim depression, Poludenskaya placer, Fisheries, technogenic-mineral formations, technogenic placers, gold

Введение

Результаты деятельности золотодобывающей отрасли последних лет позволяют отметить тенденцию значительного увеличения интенсивности освоения богатств недр, что приводит к сокращению балансовых запасов россыпного золота и к существенному истощению минерально-сырьевой базы. Прирост запасов по отношению к добыче уже длительное время имеет отрицательный баланс. Наиболее привлекательным резервом ее пополнения, являются отходы (или *техногенно-минеральные образования – ТМО*) отработанных россыпей [2, 15, 16]. По мнению многих исследователей [6, 8, 13, 15, 19, 22], в техногенных образованиях находится от 10-15 до 50 % от запасов золота, оцененного первичной геологоразведкой в геогенной россыпи. Однако, известны факты, когда в ТМО россыпей содержание металла существенно превышает содержание в природной россыпи. Это обусловлено влиянием криогенных процессов на глинистые фракции хвостов переработки геогенных

россыпей, воздействием минерализованных потоков атмосферных и подземных вод на сростки полезных компонентов и другими факторами [9].

Полуденская россыпь золота разведана в 1963-1967 гг. с балансовыми запасами золота более двух тонн, средним содержанием золота 153 мг/м^3 и забалансовыми запасами около полутонны, со средним содержанием 54 мг/м^3 . Для подсчета запасов были обоснованы следующие кондиционные параметры: минимально-промышленное содержание золота - 140 мг/м^3 , бортовое содержание золота - 55 мг/м^3 . Оработка Полуденной россыпи начата в 1973 г. гидравликой № 13 Исовского прииска объединения «Уралзолото». Параллельно с гидравликой с 1978 г. по 1987 г. работала 250-ти литровая драга. Всего по Полуденской россыпи с 1973 г. по 1987 г. добыто драгой и гидравликой 884,8 кг золота при среднем содержании 122 мг/м^3 [3, 14, 18].

Анализируя имеющиеся данные, авторы приходят к выводу, что потери золота, связанные с обработкой россыпи были существенны. Поэтому основной целью исследования является оценка ресурсного потенциала техногенной россыпи.

Методика исследования

Полевые и лабораторные исследования Полуденской россыпи, ТМО, обработка «головки отвалов» многократно проводились после того, как были закончены работы Исовским прииском. В 2020 г. полевые работы выполнены в ходе проведения исследований (отв. исп. В.Н. Голдырев) под руководством профессора ПГНИУ, д.г.-м.н. Наумова В.А. (рис. 1).

Выполнены следующие виды полевых работ: проходка поверхностных выработок на глубину до 50 см; отбор шлиховых проб объемом 5-10 л (один, два лотка). Пробы отобраны из техногенных образований россыпи. Обогащение проводилось на канадском лотке (малообъемные пробы) и на винтовом шлюзе (больше объёмные – более 50 л) с предварительным отсевом класса менее 3 (реже минус 4 мм) в баке с водой. Объём переработанной породы составил $0,3 \text{ м}^3$. При опробовании был найден 451 знак золота.

Лабораторные работы (исследование минерального состава и типоморфных характеристик золота) проведены авторами в лаборатории осадочных полезных ископаемых (ЛОПИ) кафедры поисков и разведки полезных ископаемых ПГНИУ. Разделение пробы на легкую и тяжелую фракцию осуществлено в бромформе. Просмотр тяжелой фракции осуществлен под бинокулярным микроскопом Nikon SMZ-745.

Камеральные работы были выполнены авторами в НИ Лаборатории геологии осадочных и техногенных месторождений ЕНИ ПГНИУ. Работы включали поиск, обработку, анализ и интерпретацию известных фактических и обобщающих материалов (геологические карты, научные работы, отчеты производителей, космоснимки), полевых наблюдений, изучение минерального состава шлихов.

Результаты

Геологическое строение и генезис. Месторождение россыпного золота р. Полуденная находится на западном склоне Среднего Урала, протяженностью -

7.9 км, при средней ширине 289 м и средней мощности золотоносных отложений 6,5 м. В геологическом строении района исследования принимают участия метаморфические, осадочные и вулканогенные породы верхнего протерозоя, палеозоя и комплекс рыхлых мезозой-кайнозойских отложений (рис. 2).



Рис. 1. Опробование отвалов Полуденской россыпи

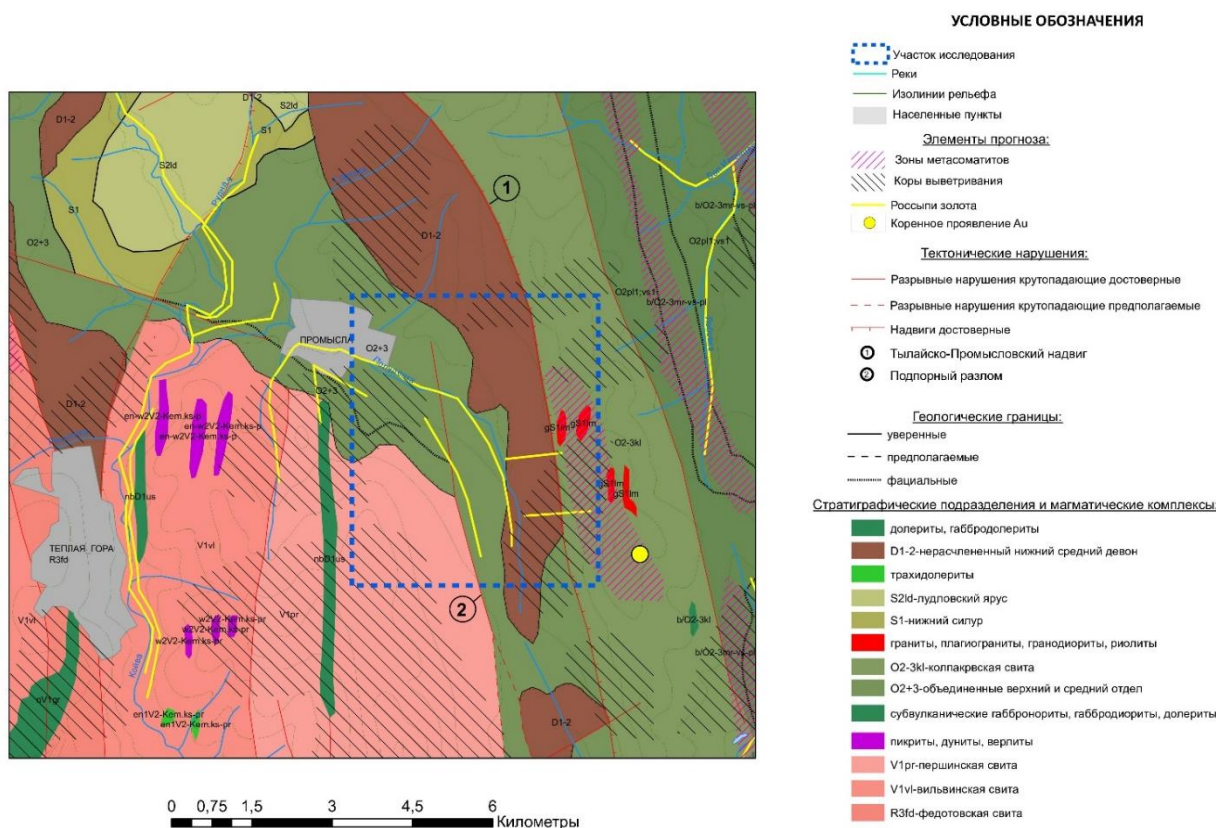


Рис. 2. Геологическая карта (основа Пунтусова, 2002) участка исследования с элементами прогноза

Месторождение относится к сложным погребенным аллювиально-делювиальным россыпям мезозой-кайнозойского долинного, неоген-четвертичного террасового и четвертичного руслового морфологических типов. Залегают месторождения на элювиальных и делювиальных отложениях мезозоя, известково-глинистых сланцах и доломитизированных известняках нижнещугорской подсвиты, доломитах и глинистых сланцах верхнещугорской подсвиты ордовика, известняках и песчаниках эйфельского яруса среднего девона. Наибольшим площадным распространением пользуются рыхлые образования мезозоя [3, 4, 18].

Формирование Полуденского месторождения тесно связано с историей развития климата и рельефа района. В мезозое образуется крупная Висимо-Вишерская эрозионно-структурная депрессия, в которой установлена россыпь, образуется мезозойская поверхность выравнивания с развитыми корами выветривания. В процессе каолинового выветривания все горные породы, кроме жильного кварца и кварцита, были превращены в глинистую массу каолинового состава. В это время происходит высвобождение золота из золотоносных пород зоны Тылайско-Промысловского надвига [5, 18].

С глубинным Тылайско-Промысловским разломом связаны Кварцевогорское и ряд других рудопроявлений золота [20], имеющих прямой выход в погребенные лога и долину р. Полуденка. Об этом свидетельствует наличие частиц золота рудного облика и слабо окатанных зерен. Помимо этого, западный борт долины р. Полуденки расположен в довольно мощной зоне метасоматически и гидротермально измененных пород, содержащих разное количество рудного золота.

Частицы золота Полуденской россыпи в гранулометрическом плане представлено в основном в классах $-1+0.1$ мм [3]. Повышенная глинистость отложений и мелкий размер зерен позволили заключить, что теоретически извлекаемое содержание по данным [1] металла такого золота составляет менее 70 %. Коэффициенты намыва золота по отработанным блокам составили от 0.3 до 1.1. Неподтверждение запасов золота связывали с данными геологической оценки и технологическими потерями вследствие высокой глинистости мезозой-кайнозойских комплексов, определявших вещественный состав россыпи.

Среди техногенно-минеральных образований (ТМО), образовавшихся в результате отработки россыпей, выделяют [23] целиковые (внутриконтурные, бортовые целики и недоработанные площади) и отвальные (гравийно-галечные отложения непромышленного пласта и галечно-эйфельные отвалы).

Целиковые ТМО. По данным геологоразведочных работ [18] фактические запасы, оставшиеся в гидравлических и дражных блоках (недоработанные площади), составляют 397,7 кг золота (92 мг/м^3), что составляет 21% от разведанных (табл. 1). Блоки 12, 32, 34, 35 не были подвергнуты отработке (рис. 3). Однако в блоках 34, 35 после пересчета количество запасов значительно сократилось.

В пределах техногенной россыпи были выделены бортовые целики (рис. 4), участки с содержанием выше 50 мг/м^3 (бортовое содержание). Авторами был

произведен подсчет запасов по категории C_2 для данных участков. Запасы составляют 2502 тыс. m^3 горной массы песков, 188,6 кг золота при среднем содержании $75 \text{ мг}/m^3$.

По самым скромным подсчетам на целиковые ТМО приходится 586,3 кг золота при среднем содержании $86 \text{ мг}/m^3$. Однако данные запасы сильно разобщены по территории россыпи. Стоит учесть, что при подсчете запасов россыпи не учитывалось мелкое и тонкое золото [10-12, 17], так как при использованных при разведке технологиях опробования оно слабо улавливалось. Поэтому исходное содержание в песках может быть значительно выше разведанных.

Таблица 1. Оставшиеся запасы в блоках Полуденской россыпи по данным [18]

№ блока	Мощность, м	Объем песков, тыс. m^3	Содержание, $\text{мг}/m^3$	Запасы, кг	Процент запасов от разведанных
Дражные запасы					
11-В	3,8	93,3	178	16,6	39%
12-В	2,1	51,1	90	4,6	100%
13-В	2,1	77,3	150	11,6	30%
14-В	2,0	33,0	123	4,1	14%
17-С ₁	4,1	41,0	30	1,2	3%
22-В	5,1	56,8	75	4,3	15%
23-В	3,2	6,7	91	0,6	6%
29-В	6,6	92,4	97	9,0	7%
30-С ₁	14,8	41,4	163	6,7	15%
31-С ₁	5,4	595,8	73	43,5	27%
32-С ₁	20,5	307,5	195	60,0	100%
33-С ₁	6,7	208,4	129	26,9	22%
36-С ₁	5,4	325,0	141	45,8	38%
38-С ₁	4,5	423,0	96	40,6	45%
43-С ₁	5,5	345,0	88	30,4	24%
Гидравлические запасы					
34-С ₁	6,7	49,6	111	5,5	60%
35-С ₁	5,2	81,6	81	6,6	54%
37-С ₁	6,0	263,4	50	13,2	18%
39-С ₁	7,0	649,6	70	45,5	14%
40-С ₁	8,6	587,4	36	21,1	14%
Всего		4329,3	92	397,7	21%

Отвальные ТМО. В ходе работ были исследованы галечные и эфельные отвалы (хвосты шлюзов и вашгерда) блоков 26, 27, 28, 39. Опробованные отложения представлены песчано-галечным материалом со слабоокатанными обломками жильного кварца и сланцев. Для техногенных образований бассейна р. Полуденки характерны следующие особенности: дифференциация по крупности; искусственный рельеф, обусловленный перемещением аллювия от места естественного места залегания; неоднократная их переработка разными способами и в разные годы; насыщенность ТМО продуктами жизнедеятельности человека. В подошве техногенных образований наблюдаются ледяные пласты, линзы и жилы. Отложения нередко перебиты паводковыми водами.

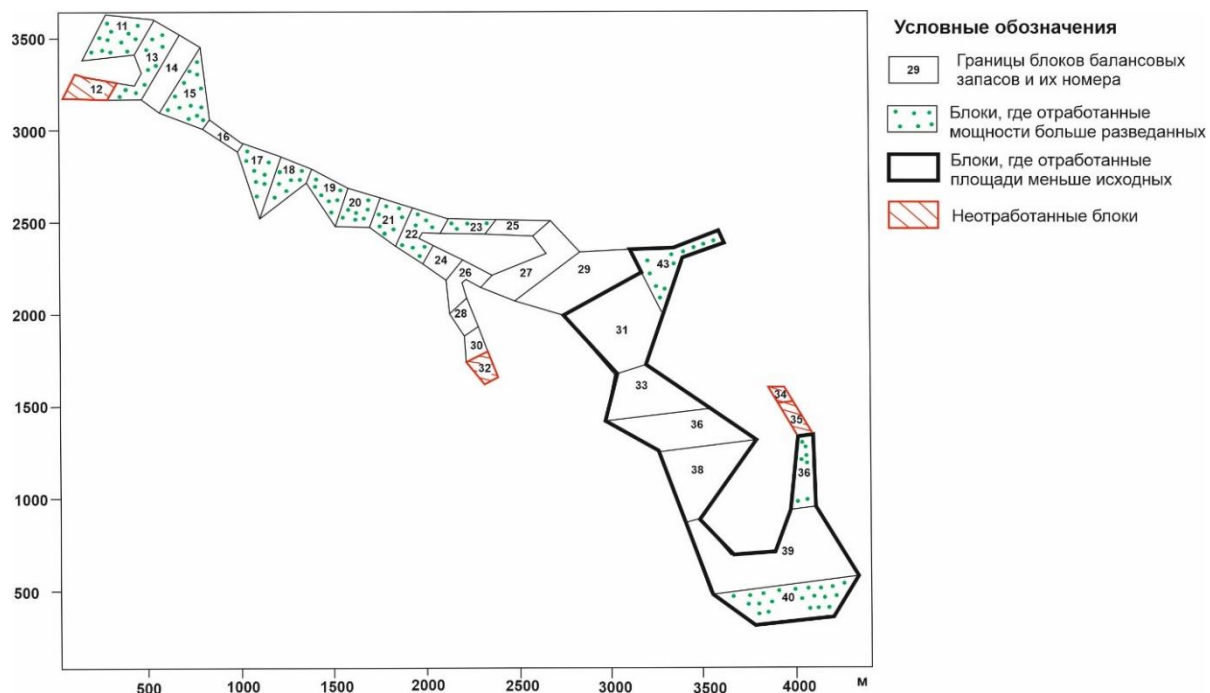
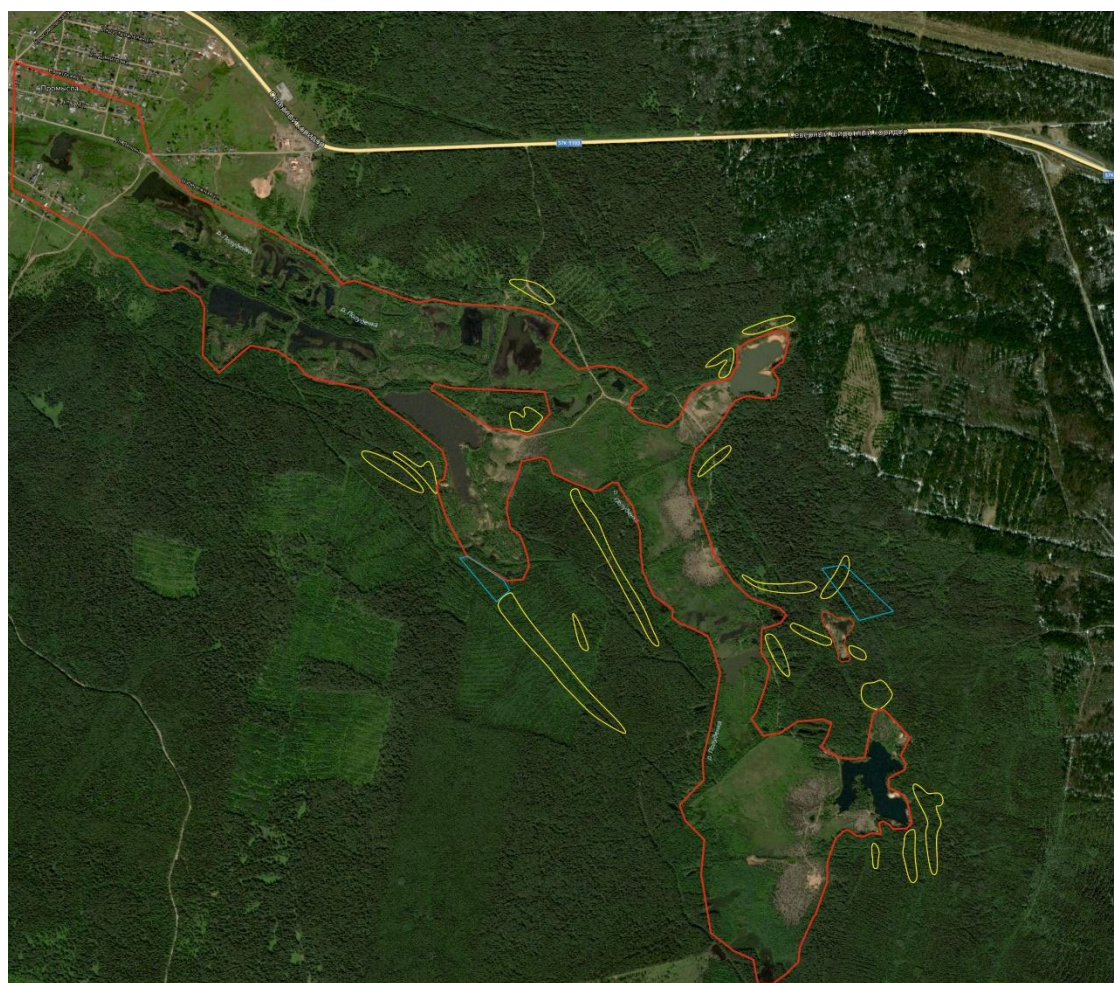


Рис. 3. Схема расположения и характеристика добычных блоков Полуденской россыпи



Условные обозначения

- | | | |
|---------------------------|----------------------|--|
| Техногенная часть россыпи | Неотработанные блоки | Неотработанные участки с содержанием >50 мг/м ³ |
|---------------------------|----------------------|--|

Рис. 4. Расположение бортовых целиков Полуденской россыпи

Сформировавшиеся толщи техногенных отложений и их металлоносность отличаются от естественных. По результатам опробования отвалов содержание золота составило от 120 до 1900 мг/м³. Стоит заметить, что старые многочисленные ямные, мелковыемочные, малообъемные выработки и отложения, как правило, более металлоносны, чем молодые отработки. К тому же надо учитывать, что общая металлоносность ТМО в основном зависит от величины исходного содержания и крупности золота.

Золото в отвалах преимущественно тонкое и мелкое (преобладающий класс - минус 0,1 мм), однако встречаются редкие знаки размером больше 0,5 мм. Золотины лентовидные, пластинчатые и изометричные. Преимущественно окатанные, на некоторых золотилах встречается мелкая ямчатость (признак растворения).

По мнению авторов, увеличение содержания золота до промышленных параметров в отвалах связано с процессами физико-химического преобразования вещественного состава техногенных образований (высвобождение зерен из глинистых агрегатов, сростков и др.) и золота (растворение, отложение, замещение, переход в коллоидное состояние и др.). Высвобождению и перераспределению концентраций золота на различных геохимических барьерах способствует значительная доля сульфидов [7, 16] в тяжелой фракции - зоны рассеянной пиритизации в листовитовых сланцах распространены повсеместно [18, 20]. Изучение частиц золота [16] из техногенных россыпей показало, что в процессе преобразования металла может происходить как укрупнение (агрегация), так и уменьшение размера зерен (диспергация). Порядок и механизмы изменения минеральных фаз золота практически не отличаются от таковых в природных условиях, однако скорость преобразования в отвалах значительно выше.

По данным геологоразведочной партии [18] при отработке Полуденской россыпи в отвалах оставлено 447,7 кг золота. Но если учесть занижение содержания золота при первичной оценке россыпи и степень извлекаемости, то по самым пессимистическим прогнозам количество золота в отвалах около 700 кг, по оптимистическим – более тонны.

Заключение

Техногенно-минеральные образования Полуденского месторождения содержат не менее 1034 кг (целиковые ТМО - 586,3 кг, отвальные ТМО - 447,7 кг) золота. Наиболее перспективными являются отвальные ТМО, так как содержания золота в отвалах превышают минимально промышленные показатели. Помимо золота, ценными минералами россыпи являются ильменит, монацит, циркон, лейкоксен, рутил. В виду того, что рекультивация изучаемых отвалов не производилась, ресурсный потенциал россыпи не только сохранился, но и вырос за счет длительного воздействия экзогенных факторов.

Библиографический список

1. Бажбеук-Меликов Н.К. Кокташев А.Е. Мацуев Л.П. Практическое руководство по эксплуатации промывочных установок и шлихообогатительных фабрик. ВНИИ-1, Магадан, 1975 г., 62 с.

2. *Беневольский Б.И.* Золото России: Проблемы использования и воспроизводства минерально-сырьевой базы. Изд. 2-е, испр. и допол. М.: ЗАО «Геоинформарк», 2002. 464 с.
3. *Брянский Я. Ш., Меньшиков О. Г., Синяев А. И.* Геологический отчет с подсчетом запасов по Полуденскому месторождению россыпного золота на западном склоне Среднего Урала по состоянию на 1.07.67. Пермь, 1967.
4. *Брянский Я. Ш., Синяев А. И., Курманаевский М. Е. и др.* Промежуточный геологический отчет о результатах поисково-разведочных работ на россыпное золото и рудное золото в Горнозаводском районе Пермской области и Нижне-Туринском районе Свердловской области по состоянию на 1.01.1969. Пермь, 1968.
5. *Брянский Я. Ш., Синяев А. И., Курманаевский М. Е.* Геологический отчет о результатах поисковых работ на россыпное золото и платину в пределах Выйско-Исовской и Висимско-Вишерской депрессий на территории Горнозаводского района Пермской области и Нижне-Туринского района Свердловской области, проведенных в 1969-1971 гг. Пермь, 1971.
6. *Быховский Л.З., Спорыхина Л.В.* Техногенные отходы как резерв пополнения минерально-сырьевой база: состояние и проблемы освоения // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 2011. № 4. С. 15-20.
7. *Генералов М.Е., Наумов В.А.* Преобразование золота в техногенных россыпях и отвалах Урала // Уральский геологический журнал. 1998. № 4. С. 19–56.
8. *Кавчик Б.К., Пятаков В.Г.* Геологическое строение техногенных россыпей и его влияние на выбор способа разработки // Золотодобыча. 2010. № 135. Иркутск: Изд-во Ирриредмет. С. 14-19.
9. *Литвинцев В.С., Алексеев В.С., Краденых И.А., Усиков В.И.* Ресурсный потенциал техногенных золотороссыпных месторождений и стратегия их масштабного освоения // Маркшейдерия и недропользование. 2017. № 5. С. 21-24.
10. *Лунев Б.С., Наумов В.А.* Мелкое золото - главное золото нашей планеты // Геология и полезные ископаемые Западного Урала. 2000. С. 50.
11. *Лунев Б.С., Наумов В.А., Наумова О.Б.* Мелкие ценные минералы в аллювии // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. 2003. № 6. С. 53.
12. *Лунёв Б.С., Наумов В.А., Наумова О.Б.* Мелкие ценные минералы в аллювии Пермского края // Естественные и технические науки. 2011. № 3(53). С. 250-251.
13. *Макаров В.А.* Золото техногенных минеральных объектов-ресурсы и проблемы геолого-технологической оценки // Золото и технологии. 2011. №3(13). С. 42-49.
14. *Меньшиков А. Г.* Геологический отчет с подсчетом запасов по Полуденскому месторождению россыпного золота на западном склоне Среднего Урала по состоянию на 1 июля 1967 года. 1967.
15. *Мирзеханов Г.С., Мирзеханова З.Г.* Ресурсный потенциал техногенных образований россыпных месторождений золота. М.: МАКС Пресс, 2013. 288 с.
16. *Наумов В.А.* Минерагения, техногенез и перспективы комплексного освоения золотоносного аллювия. Автореф. дис. ... док-ра геол.-мин. н., Пермь: ПГУ, 2010, 42 с.
17. *Наумов В.А., Лунев Б.С., Наумова О.Б.* Мелкие ценные минералы россыпей // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки. 2010. № 4(158). С. 123-126.
18. *Низовой А.П., Красулина Н.А., Гатаулина Г.Я.* Геологический отчет по Полуденскому месторождению россыпного золота за 1976-1982 гг. 1982.
19. *Петунина О.Н., Бондаренко В.П., Черкасов А.Д.* Динамика и тенденции изменения состояния сырьевой базы твердых полезных ископаемых по данным Государственного баланса запасов полезных ископаемых (2004 / 2011 годы) // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 2012. № 4. С. 43-55.
20. *Прозоровский С. Б., Брянский Я. Ш., Подсухин Н. А.* Отчет о результатах поисков месторождений рудного золота в пределах Кварцевогорской рудной зоны и Больше-Именновской перспективной площади, проведенных в 1973-1978 гг. Пермь, 1978.

21. Пунтусова Г.О. и др. Отчет по теме: «Составление прогнозно-металлогенической карты масштаба 1:200 000 Северного и Среднего Урала в пределах Центрально-Уральского поднятия и Западно-Уральской зоны складчатости». ФГУП «Геокарта-Пермь», Пермь, 2003. 232 с.
22. Рассказов И.Ю. Литвинцев В.С. Мирзеханов Г.С. Банищикова Т.С. Приоритетные направления освоения техногенных комплексов рудно-россыпных месторождений // Недропользование XXI век. 2016. № 1. С.46-55.
23. Шило Н.А. Учение о россыпях. М.: Изд-во Академии горных наук, 2000. 632 с.
24. Наумов В.А., Наумова О.Б. Формы нахождения и перспективы освоения золота в природных и техногенно-минеральных образованиях западного урала // Вестник Пермского университета. Геология. 2019. Т. 18. № 1. С. 55-63.
25. Наумов В.А., Коврижных С.Б. Основные черты формирования золотоносных россыпей на западном склоне среднего Урала // Вестник Пермского университета. Геология. 2018. Т. 17. № 2. С. 164-170.

К МЕТОДИКЕ ПОСТРОЕНИЯ ЗОН ЗАМЕЩЕНИЯ НА ЛИТОЛОГИЧЕСКИХ КАРТАХ ВЕРХНЕКАМСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ СОЛЕЙ

В статье предложена методика построения границ зон замещения на литологических картах продуктивных пластов Верхнекамского месторождения.

Ключевые слова: Верхнекамское месторождение солей, литологические карты, зоны замещения, сильвинит, карналлитовая порода, каменная соль.

D.S. Gribkov¹, A.S. Suntsev²
¹JSC "VNII Galurgiya", Perm, dmitriy.gribkov@uralkali.com
²Perm State University, suntcev1@yandex.ru

ON THE METHODOLOGY OF CONSTRUCTING REPLACEMENT ZONES ON LITHOLOGICAL MAPS OF THE VERKHNEKAMSKOE SALT DEPOSIT

The article proposes a method for constructing the boundaries of replacement zones on the lithological maps of productive layers of the Verkhnekamskoe Salt Deposit.

Key words: Verkhnekamskoe Salt Deposit, lithological maps, replacement zone, silvinit, carnallite rock, halite.

Литологические карты пластов являются основой подсчета запасов солей на Верхнекамском месторождении. При очевидной простоте геологического строения пластового месторождения, некоторые его особенности все же вызывают затруднения при построении литологических карт. Особенно это сказывается сейчас, когда с использованием компьютерных технологий расширились возможности применения трехмерных цифровых моделей. Так, большие проблемы при построении литологических карт создают зоны замещения полезного ископаемого (сильвинита и карналлита) каменной солью.

Геологическое строение Верхнекамского месторождения описано неоднократно [1-3] и др. Указывается, что зоны замещения сильвинита и карналлита каменной солью встречаются во всех продуктивных пластах месторождения, охватывая как отдельные пласты, так и серии сближенных пластов. Площадь зон различна, она изменяется от первых квадратных метров до первых квадратных километров. Такие зоны в разное время исследователями, назывались по-разному: зоны разубоживания, зоны разубоживания и замещения, галитовые

зоны, галитовые тела, галитобы, зоны термодинамического разубоживания, зоны замещения. В статье принят последний термин – зоны замещения.

Генезис зон замещения на Верхнекамском месторождении солей сам по себе представляет большой научный интерес, ему посвящено много работ [1-7] и др. Вполне логично, что принятие той или иной генетической модели определяет методику оконтуривания зон замещения. Кроме того, необходимо принимать во внимание влияние и других контролирующих факторов, таких как структурное положение участка и внутренняя складчатость пород. Прогнозы местоположения и очертаний зон замещения на основании имеющихся данных являются до сих пор весьма приближенными. Довольно часто при отработке пластов границу зоны приходится проводить по единичным пересечениям. Желательно, чтобы методика построения таких зон или их совокупностей была простой и понятной.

В настоящее время более или менее пристальное внимание уделяется составлению литологических карт промышленных пластов, по которым больше всего фактического материала. Построением литологических карт не промышленных пластов занимаются в меньшей мере, однако они учитываются при подсчете запасов солей. Их также желательно включать в строящиеся цифровые модели месторождения.

При подсчетах запасов рассматривается, как правило, один конкретный пласт. Граница между пересечением зоны замещения и пересечением сильвинита проводится обычно методом интерполяции, на половину расстояния. В случае с карналлитовой породой расстояние между пересечениями делится на три равных части, когда средняя часть определяется как область распространения «смешанных солей». Существующая методика построения границ зон замещения не учитывает взаимосвязь с окружающими пластами, либо учитывает их по алгоритму, который сложно учесть в цифровой модели. Опыт разработки месторождения показал, что в большинстве случаев, особенно в нижней части калийной залежи, зоны замещения представляют собой объемные тела, обращенные расширяющимся основанием к подошве калийной пачки (Рис. 1). В пласте КрIII развиты наибольшие по площади зоны замещения сильвинита каменной солью. Вверх по разрезу залежи площади зон сокращаются, а количество мелких тел, уходящих «корнями» в нижележащие крупные зоны, наоборот увеличивается. Отметим, что имеются все же редкие исключения из указанных закономерностей развития зон замещения, они должны учитываться индивидуально, особенно в районах выклинивания пластов калийной залежи.

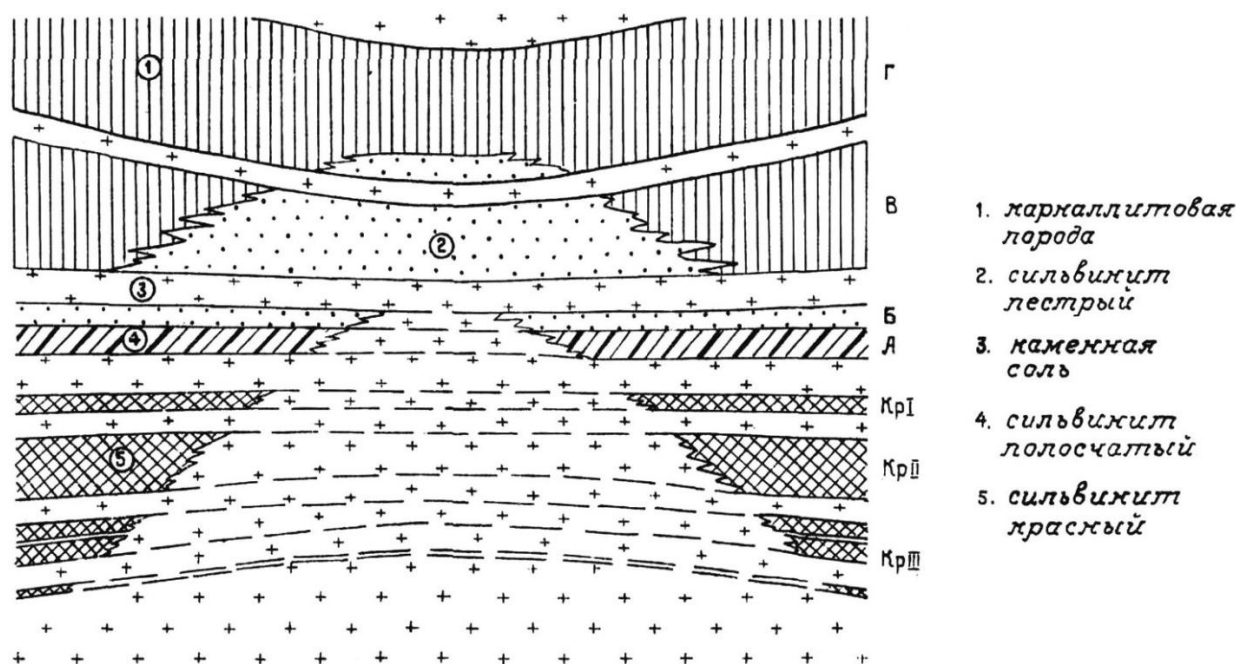


Рис. 1. Схема строения зоны замещения (5)

Для проведения границ зон замещения в общем виде предлагается следующий алгоритм (рис. 2). Расстояние между пересечениями пласта, где вскрыта каменная соль замещения и незамещенный сильвинит, делится пополам. Граница по нижележащему пласту проводится аналогично – наполовину расстояния, но уже от выделенной границы по вышележащему пласту. И такой принцип построения контура сохраняется до самых нижних пластов.

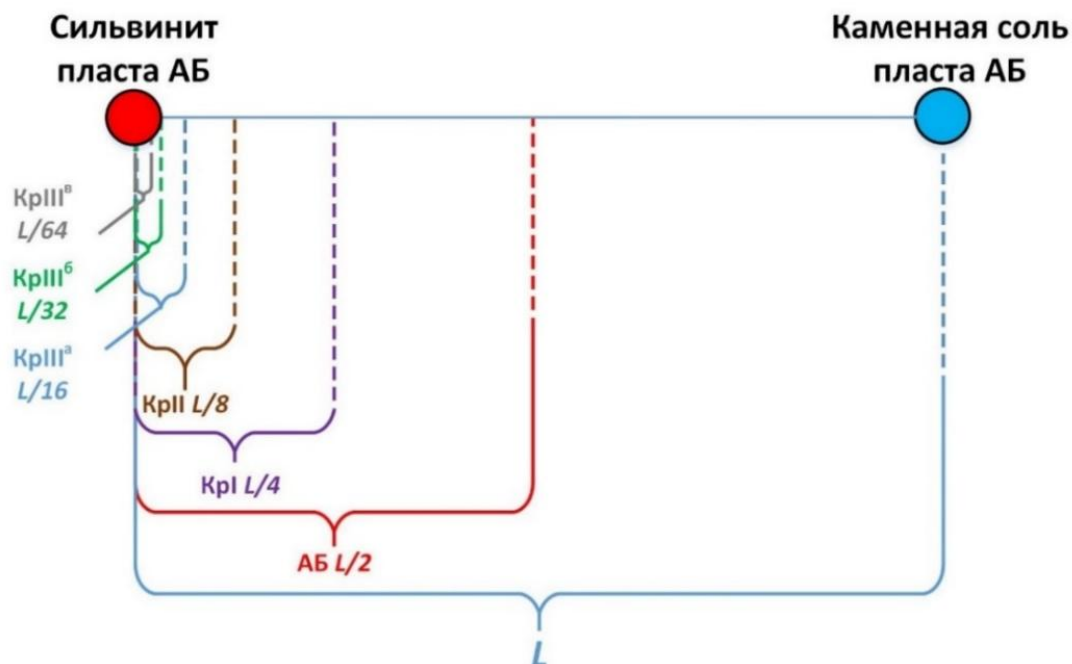


Рис. 2. Принцип оконтуривания зоны замещения – на основе достоверно подсеченной зоны по пласту АБ

Интерполирование на половину расстояния возможно для действующих рудников, где сеть опробования густая. На участках месторождения, где сеть опробования реже 2×2 км, выделение зоны замещения по верхнему пласту рекомендуется начинать с $1/3$ расстояния от пересечения, достоверно вскрывшего зону замещения.

Возможны ситуации, когда точки наблюдения сильвинита по нижележащему пласту находятся на различном удалении от зоны замещения по выше-лежащему пласту. Формальное соблюдение правила интерполяции при рисовке зоны замещения нижележащего пласта приводит к резкой асимметрии – к «раздуву» зоны в сторону удаленной точки (рис. 3). Чтобы избежать такого «раздува», зону замещения нижележащего пласта в подобных случаях следует отстраивать вокруг известной вышележащей зоны на половину от меньшего расстояния до известного пересечения сильвинита в нижележащем пласте. Однако, если скважина находится в пределах зоны замещения, а на нижележащих пластах зона этой же скважиной не прослеживается, то выше-описанный алгоритм не применяется.

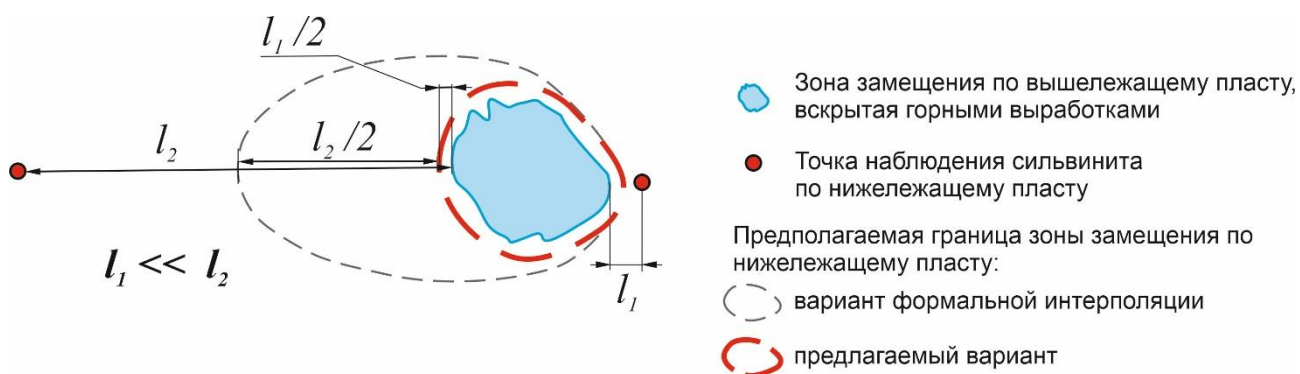


Рис. 3. Принцип оконтуривания зоны замещения по нижележащему пласту при резко асимметричном расположении точек интерполяции

При появлении в разрезе карналлитовой породы интерполяция расстояния между карналлитовой породой и каменной солью производится по тому же принципу, но первоначальное расстояние делится не на две, а на три равные части. Средняя из частей отводится под «смешанные соли» (карналлит с сильвинитом).

При документации горных выработок, когда зона замещения наблюдается визуально, ее границы отбиваются геологами рудников. Вопросы о месте их проведения, как правило, не возникают. Проблемы появляются при проведении границ зон при частичном замещении, когда зона вскрыта и опробована единичной скважиной, особенно по пластам с невысоким содержанием KCl. В таких случаях, если нет дополнительного обоснования, предлагается к зонам замещения относить интервалы со средним содержанием KCl в продуктивном пласте менее 10 %. К обоснованию данного предложения приведем

гистограмму распределения содержаний KCl по скважинам, пересекшим пласт КрШа (рис. 4). На рисунке видно, что именно с 10 % начинается существенный рост содержаний KCl. Сходная картина наблюдается по остальным пластам.

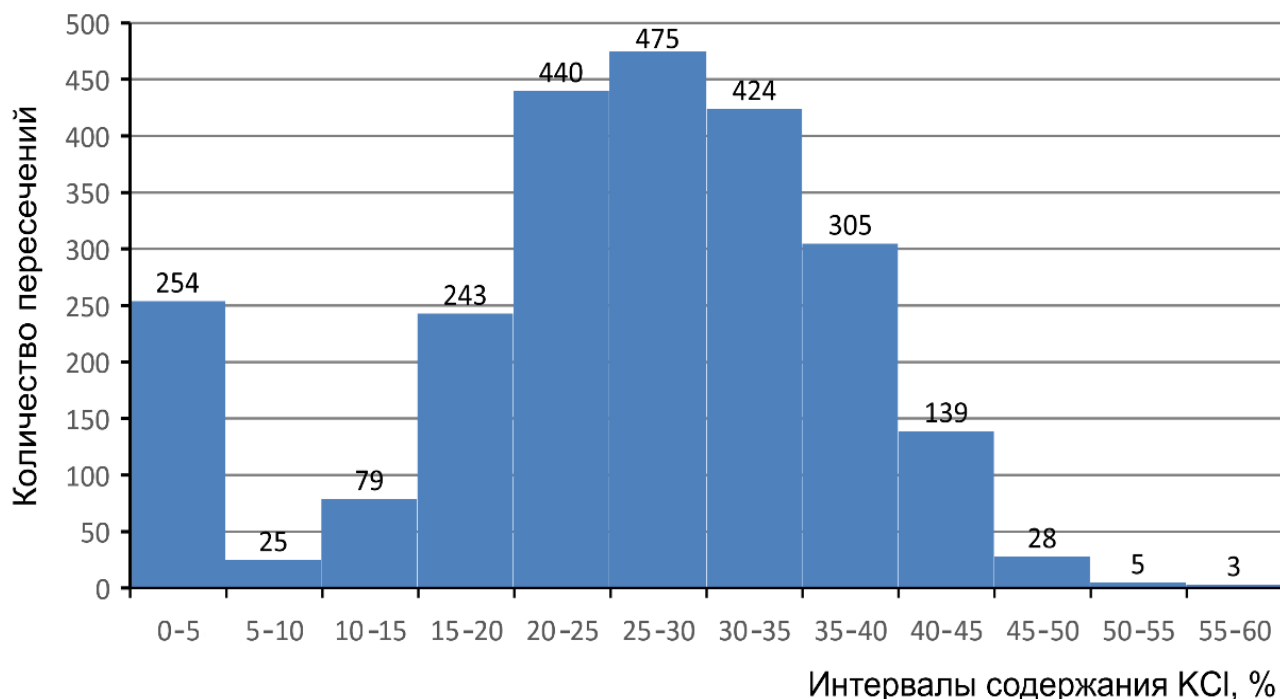


Рис. 4. Пример бимодального распределения содержаний KCl в пласте КрШа по данным опробования скважин

При построении границ зон замещения сильвинита каменной солью используется имеющаяся на рудниках горно-графическая документация – зарисовки стенок подготовительных и капитальных горных выработок, прорезающих указанные пласты. Составляется карта фактического материала, на которую наносятся литологические контакты, зафиксированные в выработках. Они наравне с данными опробования участвуют в построении литологических карт.

На рис. 5 для примера показан упрощенный фрагмент литологической карты зон замещения, отстроенный согласно описанной выше методике для нижних пластов калийной залежи, а в таблице приведены их площади. Карта и таблица отчетливо показывают постепенное увеличение с глубиной суммарных площадей зон замещений сильвинита каменной солью.

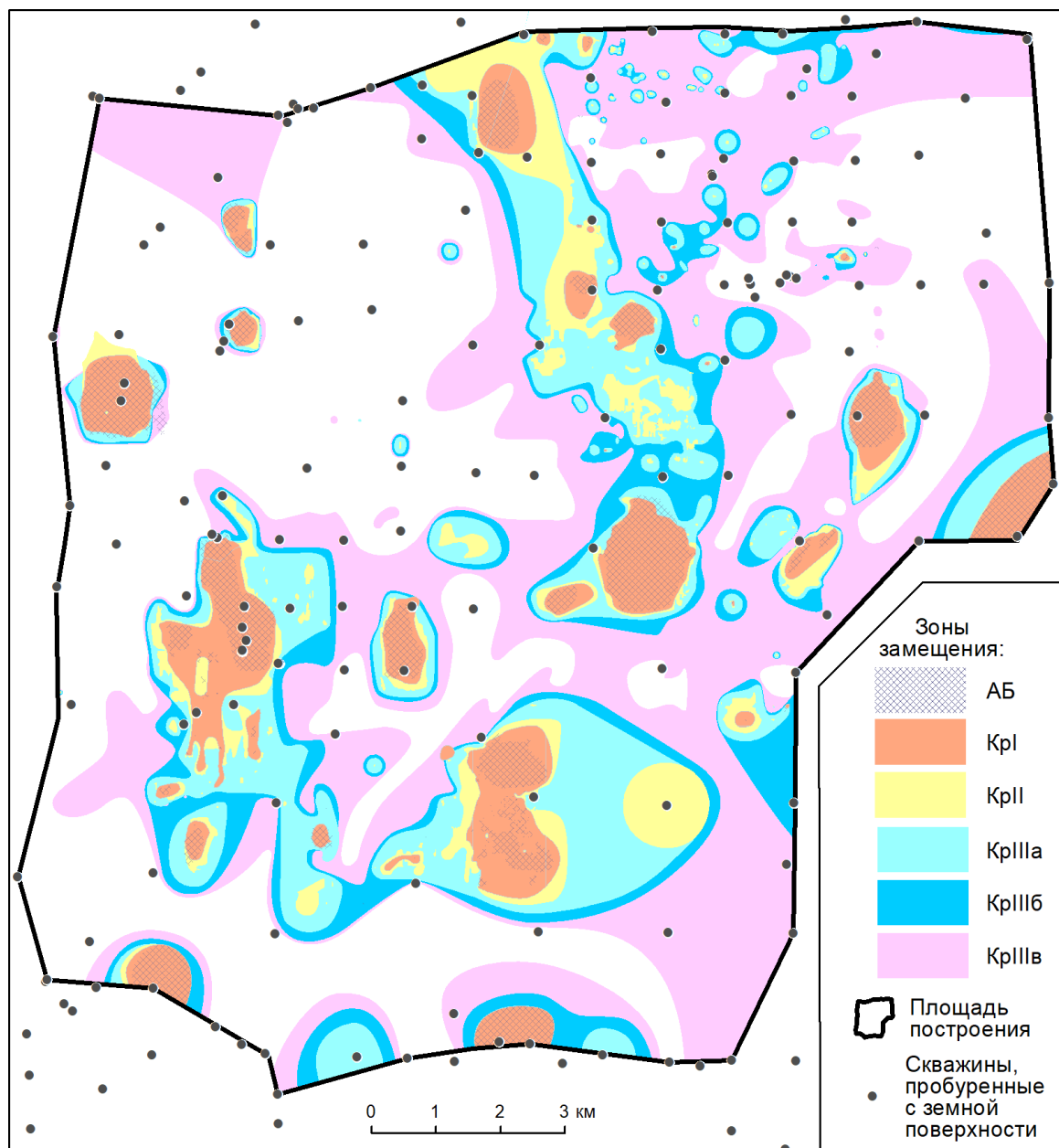


Рис. 5 Зоны замещения в районе центральной части Верхнекамского месторождения в интервале пластов с KpIII по AB

Таблица. Изменение площадей зон замещения по пластам

Пласт	Площадь	
	тыс. м ²	% от площади построения
AB	10727	5,24
KpI	15788	7,71
KpII	25230	12,31
KpIIIa	44812	21,87
KpIIIб	64251	31,36
KpIIIв	121981	59,54

В случаях недостатка фактических данных, предложенная методика поможет заложить в создаваемые цифровые модели рудников Верхнекамского месторождения грубый, но понятный алгоритм построения зон замещения, как по отрабатываемым, так и по неотрабатываемым продуктивным пластам.

Библиографический список

1. *Иванов А.А., Воронова М.Л.* Верхнекамское месторождение калийных солей. Недра, Л., 1975. 218 с.
2. *Копнин В.И.* Верхнекамское месторождение калийных, калийно-магниевых и каменных солей и природных рассолов // Известия высших учебных заведений, 1995. № 6. С. 10-43.
3. *Кудряшов А.И.* Верхнекамское месторождение солей. М.: «Эпсилон Плюс». 2013. 367 с.
4. *Сапегин Б.И., Белоликов А.И. и др.* Отчет о детальной разведке Половодовского участка Верхнекамского месторождения калийных солей, выполненной в 1973-1975 гг. Чашкино: СГРП, 1975. Фонды ПАО «Уралкалий».
5. *Третьяков Ю.А. и др.* Изучение зон замещения на Верхнекамском месторождении и методика их прогноза. Березниковский филиал ВНИИ Галургии, Березники, 1971. Фонды АО «ВНИИ Галургии».
6. *Филиппов С.А. и др.* Разработать и внедрить методику прогноза и оконтуривания зон замещения и разубоживания продуктивных пластов. ВНИИгеолнеруд, Казань, 1988. Фонды ПАО «Уралкалий».
7. *Чайковский И.И. и др.* Разработка методики разбраковки зон разубоживания для оценки их опасности на водозащитную толщу на примере шахтных полей ОАО «Уралкалий». ГИ УрО РАН, Пермь, 2012. Фонды ПАО «Уралкалий».
8. *Чайковский И.И., Иванов О.В.* Новые данные по геохимии газов калийных месторождений // Вестник Пермского университета. Геология. 2014. № 4 (25). С. 56-65.

МИНЕРАЛЬНЫЙ СОСТАВ, МИКРОСТРУКТУРА И КРАТКАЯ ПАЛЕОНТОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ВЕРХНЕДЕВОНСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ ВЕРХНЕВОЗЕЙСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

В статье приведены результаты исследования верхнедевонских отложений Верхневозейского месторождения нефти с применением электронной микроскопии и рентгенодифрактометрического анализа. Электронно-микроскопические исследования и микрозондовый анализ позволили уточнить минеральный состав и структурные особенности пород. Выполнена диагностика встреченных фаунистических остатков (остракоды, конодонты, спикулы губок, радиолярии) и компонентов палеофлоры (споры, прازیнофиты). Установлен элементный состав породообразующих, аллотигенных, и аутигенных минералов. Изучена структура порового пространства, рассмотрено влияние вторичных процессов на формирование пористости. На основе изменчивости состава проведена краткая реконструкция условий осадконакопления.

Ключевые слова: верхний девон, доманиковая формация, минералогия, палеонтология, органическое вещество, тентакулиитоиды, конодонтовые элементы, радиолярии, Тимано-Печорская провинция, сканирующая электронная микроскопия.

G.A. Isaeva, K.V. Dementieva
«PermNIPIneft», branch of LLC «LUKOIL-Engineering»

MINERAL COMPOSITION, MICROSTRUCTURE AND BRIEF PALEONTOLOGICAL CHARACTERISTICS OF THE UPPER DEVONIAN DEPOSITS OF THE VERKHNEVOZEYSKOE FIELD

In the article the results of the study of the Upper Devonian deposits of the Verkhnevozeyskoe oil field using electron microscopy and XRD analysis are presented. Electron microscopic studies and microprobe analysis made it possible to clarify the mineral composition and structural features of the rocks. The characteristics of the encountered faunal remains (ostracods, conodonts, sponge spicules, radiolarians) and paleoflora components (spores, prasinophytes) were carried out. The elemental composition of rock-forming, alotigenic, and authigenic minerals has been established. The structure of the pore space is studied, the influence of secondary processes on the formation of porosity is considered. Based on the variability of the composition, a brief reconstruction of the sedimentation conditions was carried out.

Key words: Upper Devonian, Domanic formation, mineralogy, paleontology, organic matter, tentaculitoids, conodont elements, radiolarians, Timan-Pechora province, scanning electron microscopy.

Отложения доманиковой формации, широко развитые в Тимано-Печорской и Волго-Уральской провинциях, на протяжении последнего десятилетия активно исследуются как возможные нетрадиционные источники углеводородного сырья. На территории Тимано-Печорской провинции доманиковый горизонт харак-

теризуется резкой фациальной изменчивостью [8], что значительно повышает геологические риски при проведении геологоразведочных работ.

Особенностью доманиковых отложений является поликомпонентный состав: породы сложены кварцем, карбонатами, глинистыми минералами и обогащены органическим веществом. Матрикс пород, как правило, характеризуется пелитоморфной и мелкозернистой структурой, что создает трудности при петрографическом изучении. Поэтому для полноценного изучения пород доманиковой формации необходимо применение прецизионных методов.

Методика исследований. В данной работе представлены результаты изучения минерального состава и микроструктуры верхнедевонских отложений Верхневоезского месторождения, полученные в процессе лабораторных исследований кернового материала одной скважины. Месторождение в тектоническом отношении приурочено к структуре Хорейверской впадины, прилегающей с востока к Колвинскому мегавалу Печоро-Колвинского авлакогена. Исследован практически непрерывный разрез отложений франского яруса в составе нерасчлененных тиманского и саргаевского горизонтов, доманикового, ветласянского, сирачойского, нерасчлененных евлановского и ливенского горизонтов.

Минеральный состав пород (196 образцов) и глинистой фракции (39 определений) изучен с применением дифрактометра D8 Advance (Bruker), химический состав (146 образцов) – с помощью спектрометра S8 Tiger (Bruker). Исследования микроструктуры пустотного пространства и минерального состава пород (109 образцов) были выполнены на сканирующем электронном микроскопе ThermoScientific Quattro S с системой микроанализа EDAX Octane Elite (Thermo Fisher Scientific).

Литологическая характеристика. По данным литологического изучения породы представлены известняками локально глинистыми, доломитистыми, алевроитистыми (ЛТ-1¹, ЛТ-2), перекристаллизованными известняками (ЛТ-3), мергелями (ЛТ-4), породами смешанного типа (ЛТ-5) и аргиллитами (ЛТ-6).

На микроуровне наблюдаются только два вида текстуры: микрослоистая и массивная. Микрослоистая текстура характерна для глинистых известняков (ЛТ-1), мергелей (ЛТ-4) и аргиллитов (ЛТ-6), и редко встречается в грейнстоунах (ЛТ-2). Массивная текстура наблюдается в большинстве образцов, представленных низкоглинистыми мадстоунами и вакстоунами (ЛТ-1), пак-грейнстоунами и грейнстоунами (ЛТ-2), перекристаллизованными известняками (ЛТ-3) и породами смешанного состава (ЛТ-5) (рисунок 2.3.1, б).

Степень детализации, доступная методу сканирующей электронной микроскопии, позволила установить микроагрегатную структуру пород, которая ранее в шлифах определялась как пелитоморфная. Микроагрегатная структура матрикса/цемента характерна для пород смешанного состава (ЛТ-5), сложенных карбонатно-глинисто-кремнистыми образованиями, глинисто-карбонатных мергелей (ЛТ-4) и глинистых известняков (ЛТ-1). Микритовый матрикс (размер кристаллов до 50 мкм) кальцитового состава встречается в мадстоунах и вакстоунах (ЛТ-1) и в качестве реликтов в пак-грейнстоунах (ЛТ-2) и перекристал-

¹ ЛТ - литотип

лизированных известняках (ЛТ-3). Биокластовая структура характерна для тентакулитовых известняков (ЛТ-2), в остальных литотипах встречается в отдельных прослоях и участках. Спаритовый цемент (тонкозернистая структура) встречается в пак-грейнстоунах, грейнстоунах (ЛТ-2) и перекристаллизованных известняках (ЛТ-3). Пелитовая и алевропелитовая структура зафиксирована в глинистых прослоях в аргиллитах. Алевроитовая примесь в виде обломков слюды, альбита, кварца установлена в вакстоунах (ЛТ-1).

Палеонтологическая характеристика. Биокласты представлены раковинами и фрагментами остракод, трубками тентакулитов, кальцисферами, радиоляриями, конодонтовыми элементами, спикулами губок, раковинным детритом (двустворки, брахиоподы) и прочими остатками с минеральным скелетом неустановленной систематической принадлежности.

Остракоды различной видовой принадлежности зафиксированы на протяжении всего разреза в карбонатных разностях пород. Раковины остракод сложены микритовым кальцитом, внутренняя часть нередко перекристаллизована до спарита, иногда встречаются раковины фосфатного состава. В отдельных прослоях доманикового горизонта наблюдается окремнение и частичная пиритизация раковин.

Тентакулиитоидеи встречаются в пределах доманикового и ветласянского горизонтов, периодически в виде целых прослоев пак-грейнстоунов и грейнстоунов (ЛТ-2). Большие скопления представлены стилиолинами (отряд *Styliolinida*), для которых характерны трубки с гладкой поверхностью и иногда с псевдопорами [6]. Собственно, тентакулиты (отряд *Tentaculitida*) определены в породах смешанного состава (ЛТ-5) и представлены трубками с поперечными кольцами. Скелеты и их фрагменты состоят преимущественно из кальцита, в некоторых случаях окремнены. Во внутренней части трубок иногда сохраняются реликты органического вещества. В нескольких образцах из пород ветласянского горизонта, органика частично или полностью замещена пиритом, сфалеритом или идиоморфным кальцитом.

Конодонтовые элементы распространены в доманиковых и ветласянских отложениях, а в породах сирачойского и евлановско-ливенского горизонтов встречены в единичных образцах. Остатки, сложенные апатитом, зачастую характеризуются хорошей степенью сохранности.

Скелеты *радиолярий*, обнаруженные в двух образцах, сохранились за счет пиритизации и определены по сферической форме, а также трем соединяющимся иглам, образующим треугольную рамку [2]. Еще в одном образце обнаружена радиолярия кальцитового состава хорошей степени сохранности. Кроме того, реликты радиолярий встречены в форме округлых скоплений органического вещества с ажурным окаймлением кремневого состава. В целом, большинство радиолярий, по-видимому, были растворены под воздействием щелочной среды вмещающих карбонатных пород [3].

Спикулы губок распознаются в нескольких образцах по фрагментам трехосных спикул, либо по сетчатому (диктиональному) типу скелета или его остаткам, которые свойственны отряду *Triaxonida* [6]. Находки аналогичных фраг-

ментов спикул губок были описаны для верхнедевонских отложений, и, в частности, для пород доманиковой свиты [2].

Кальцисферы установлены в виде сферических образований, сложенных микритовым или спаритовым кальцитом. Иногда в центральной части наблюдаются реликты органического вещества. В некоторых случаях в пространстве между кристаллами кальцита фиксируются высыпки или единичные включения пирита. Встречаемость кальцисфер в породах увеличивается снизу-вверх по разрезу. Не исключено, что часть кальцисфер являются кальцитизированными скелетами радиолярий, так как в процессе литификации может происходить микробная коррозия и микритизация скелетов [3].

Микрофоссилии с органической оболочкой без отличительных морфологических признаков отнесены к *палиноморфам*. В некоторых образцах заметны детали внутреннего строения и поверхности, что позволило уточнить их принадлежность. Так, палиноморфы дисковидной формы с заметным трехлучевым строением определены как миоспоры [9,12, 11]. В одном образце обнаружены палиноморфы с дисковидной оболочкой и шестиугольной сотовидной скульптурой поверхности (в виде сетки), которые похожи на *Inderites reticulatus* (Naumova) Telnova семейства *Tasmanaceae* из группы прازیнофитов, относящейся к зеленым водорослям (*Chlorophyta*) [10].

Помимо палиноморфов, *органическое вещество* установлено в виде скоплений изометричной или неправильной формы, и в рассеянной форме в матриксе пород смешанного состава (ЛТ-5). В одном образце установлен прослой органического вещества. Скопления изометричной формы нередко частично или полностью замещены пиритом. Органическое вещество, обособленное неправильными, иногда извилистыми контурами, вероятно, представляет собой ассоциацию изометричных образований. В отдельных случаях по форме удалось определить углефицированные растительные остатки. В породах смешанного состава ОВ определено во всех образцах, а в литотипах ЛТ-2, ЛТ-3 органическое вещество встречается крайне редко.

Минеральный состав. Результаты рентгенодифрактометрического анализа показали, что снизу-вверх по разрезу наблюдается постепенное изменение пород от кальцитового (ЛТ-2, ЛТ-3) и кальцит-кварцевого состава (ЛТ-5) для доманикового горизонта, к глинисто-карбонатным (ЛТ-1, ЛТ-4) и кремнисто-карбонатным (ЛТ-5) породам ветласянского и сирачойского горизонта до глинистых (ЛТ-6), карбонатно-глинистых (ЛТ-4) и карбонатных (ЛТ-1) евлановско-ливенских образований (рис. 1).

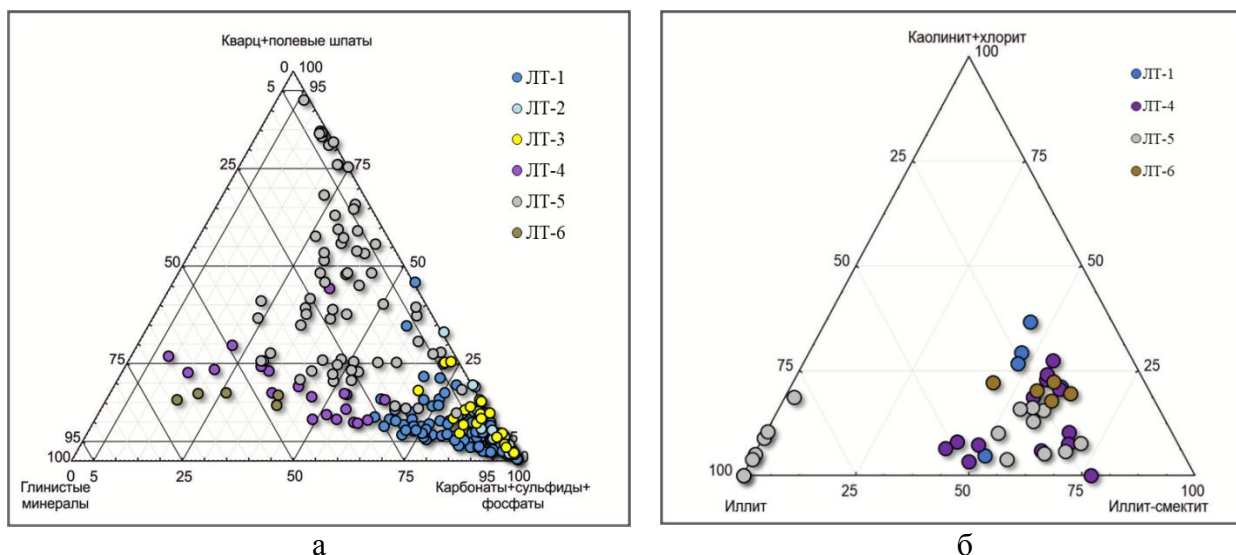
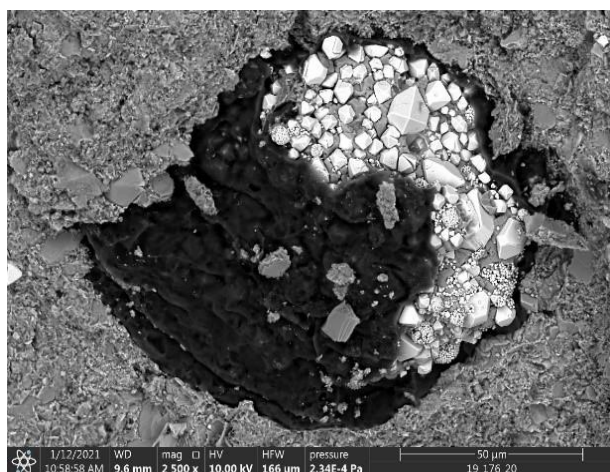


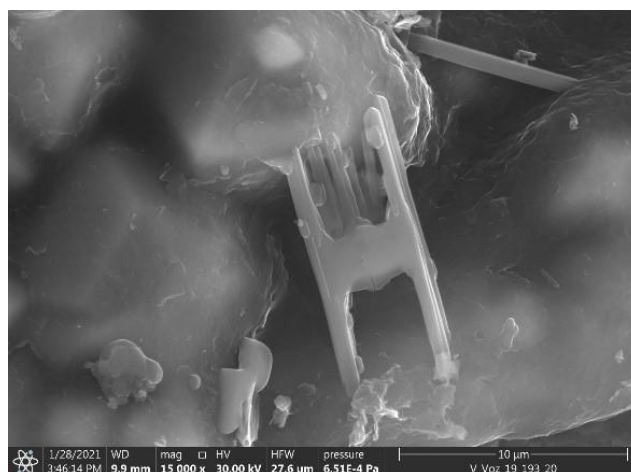
Рис. 1. Минеральный состав верхнедевонских отложений (а) и глинистой фракции (б) Верхневозейского месторождения. Обозначения: ЛТ-1 – известняки (мадстоуны, вакстоуны); ЛТ-2 – известняки (пакстоуны, грейнстоуны, пак-грейнстоуны); ЛТ-3 – известняки перекристаллизованные; ЛТ-4 – мергели с биокластами кремнистые доломитистые алевролитистые; ЛТ-5 – породы смешанного типа; ЛТ-6 – аргиллиты алевролитистые известковистые с биокластами

Аллоигенные минералы представлены чешуйками слюд и хлоритов, глинистыми агрегатами, обломками плагиоклазов и кварца, и встречаются большей частью в аргиллитах (ЛТ-6), мергелях (ЛТ-4) и глинистых известняках (ЛТ-1). *Слюдистые* чешуйки представлены преимущественно калиевой разновидностью (мусковит). В нижней половине разреза евлановско-ливенского горизонта и верхней части ветласянского горизонта установлены калиевые слюды с высоким содержанием железа и магния, определенные как ферроселадонит. *Хлорит* характеризуется магнезиально-железистым составом. *Плагиоклазы* (альбит, редко андезин) зафиксированы в виде зерен алевроитовой размерности, зачастую сохранивших призматическую форму. Зерна *кварца* угловатые и полуокатанные. Глинистые агрегаты сложены кварцем, иллитом, иллит-смектитом, иногда с анатазом.

Аутигенные минералы. *Пирит* различной формы установлен по всему изученному разрезу, за исключением отдельных прослоев тентакулитовых известняков (ЛТ-2) доманикового горизонта, мергелей (ЛТ-4) и известняков (ЛТ-1) ветласянского и евлановско-ливенского горизонтов. Наиболее распространены фрамбоиды с идиоморфными кристаллами и высыпки кристаллов. Реже встречаются фрамбоиды с ксеноморфными кристаллами. Подавляющее большинство обнаруженных скоплений пирита приурочено к органическому веществу, которое играет важную роль при образовании фрамбоидов (рис. 2,а). На формирование пирита влияет наличие органического вещества, пригодного для бактериального разложения, серы или растворенного сульфата и железистых минералов [1]. Некоторые исследователи отмечают, что образование фрамбоидального пирита происходило при сульфатредукции тасманитесов [13, 14]. Учитывая находки празиофитов, можно предположить данный механизм образования как основной.



а



б

Рис. 2. Частично пиритизированная миоспора с органической оболочкой (а) и детальная фотография кристалла фонтарнауита (б)

Сфалерит выполняет внутрiformенное пространство тентакулитов и встречается в виде включений в матриксе, иногда совместно с *халькопиритом*.

Сульфаты бария и стронция (стронциевый барит и целестин) встречены в единичных образцах в форме игольчатых, сноповидных агрегатов, кристаллических скоплений, залечивающих трещину. В одном образце обнаружены игольчатые и призматические кристаллы сульфатов Ca, K, Sr и Na, диагностированные как фонтарнауит $((\text{Na}, \text{K})_2(\text{Sr}, \text{Ca})(\text{SO}_4)[\text{B}_5\text{O}_8(\text{OH})] \cdot 2\text{H}_2\text{O})$ (рис. 2, б).

Помимо биокластов (конодонты, раковинный детрит), *апатит* установлен в виде сахаровидных микрокристаллических скоплений и сферолитов.

Железистый доломит и *анкерит* зафиксированы в виде идиоморфных включений (ромбоэдров) по органическому веществу, апатиту, иногда в матриксе или цементе пород.

Порово-пустотное пространство. По форме выделялись изометричные, анизометричные и щелевидные поры [5]. Средний размер пор в изученных отложениях варьирует в пределах 1-5 мкм.

Межагрегатные (межзерновые) поры расположены между агрегатами карбонатного, карбонатно-глинистого, карбонатно-глинисто-кремнистого состава или микритовым матриксом. В известняках (ЛТ-1), мергелях (ЛТ-4) и аргиллитах (ЛТ-6) поры щелевидные и анизометричные, размером 3-5 мкм, иногда достигают – 7-10 мкм. Для пород смешанного состава (ЛТ-5) характерны изометричные поры размером до 1-2 мкм и менее. Реже встречаются более крупные поры (до 3-5 мкм). В некоторых образцах не установлено пор открытого типа, что, вероятно, связано с их малым размером (менее 1 мкм), сложностью обнаружения и диагностики.

Межкристаллические поры различной морфологии образованы вторичным спаритовым кальцитом и встречаются в перекристаллизованных породах (ЛТ-3), пак-грейнстоунах (тентакулитовых известняках) (ЛТ-2), а также характерны для известняков с микритовым матриксом (ЛТ-1).

На формирование пустотного пространства во многом повлияли постседиментационные процессы: уплотнение, выщелачивание, кальцитизация, окрем-

нение. Первичный матрикс, иногда и сами биокласты, были перекристаллизованы до тонкозернистых структур. Растворение карбонатных компонентов повышало рН захороненного осадка и вызывало растворение биокластов с кремневым скелетом. Высвободившийся кремнезем переотлагался и кристаллизовался в виде кварца в матриксе. Межформенное пространство в тентакулитовых известняках было заполнено кальцитом. Описанные процессы, в целом, привели к уменьшению объема порового пространства.

Седиментологическая интерпретация. Отложения нерасчлененных тиманского и саргаевского горизонтов представлены глинистыми разностями, что проявляется в повышенном содержании глинистых минералов, полевых шпатов, анатаза и относительно низкой доле кальцита и кварца. Кроме того, породы пиритизированы.

Породы доманикового горизонта характеризуются сильной изменчивостью, обусловленной вариацией соотношений кварца и кальцита. Окремнение пород, дефицит глинистого вещества, наличие апатита и повышенная доля органики указывают на формирование отложений доманикового горизонта в условиях максимальной трансгрессии и удаленности береговой линии от места накопления осадков.

В отложениях ветласянского горизонта относительно доманика снижается количество кварца, увеличивается доля глинистой компоненты, и синхронно с ней возрастает доля полевых шпатов и анатаза. В составе глинистой фракции помимо иллита увеличивается доля иллит-сметктита и появляется хлорит. Перечисленные особенности указывают на регрессию моря, приближении береговой линии и, как следствие, увеличение поступления терригенного материала.

В породах сирачойского горизонта нарастает доля карбонатов и снижается количество глинистого вещества. Остальные тенденции сохраняются. В пределах ветласянского и сирачойского горизонтов выделяются отдельные окремненные прослои, обогащенные органическим веществом, что свидетельствует о периодическом установлении застойного режима с дефицитом кислорода, аналогичных условиям доманикового времени.

В основании разреза нерасчлененных евлановского и ливенского горизонтов выделяется интервал, сложенный аргиллитами и мергелями, где резко увеличивается доля глинистой компоненты. Пелитовая фракция пород состоит из иллит-сметктита, иллита, хлорита и каолинита, который появляется впервые. Каолинит, как правило, формируется в континентальных обстановках (корах выветривания) [4] и его появление означает увеличение поступления терригенного материала. Затем количество глинистых минералов, пирита и анатаза постепенно снижается, а содержание кальцита, напротив, возрастает до смены терригенно-карбонатных отложений известняками. В верхней половине разреза отмечается увеличение доломитизированных прослоев, некоторые узкие интервалы окремнены.

Накопление мадстоунов, вакстоунов, мергелей, аргиллитов и пород смешанного состава свидетельствует о доминировании гидродинамически пассивных обстановок на протяжении от доманикового до ливенского времени, с кратко-

временными периодами более активных условий, когда формировались пакстоуны и грейнстоуны.

Таким образом, информация о минеральном составе, микроструктуре и палеонтологических находках пород доманиковой формации, полученная с применением рентгенодифрактометрического анализа и электронной микроскопии, является весовым дополнением к литологической характеристике отложений.

Библиографический список

1. Астафьева М.М., Розанов А.Ю., Хувер Р. Фрамбоиды: их структура и происхождение // Палеонтол. журн. М.: ПИН РАН 2005. № 5. С. 1-7.
2. Афанасьева М.С., Амон Э.О. Радиоларии. М.: ПИН РАН, 2006. 320 с.
3. Афанасьева М.С., Амон Э.О. Фоссилизация скелетов радиоларий // Становление скелета у различных групп организмов и биоминерализация в истории Земли. М.: ПИН РАН, 2014. С. 104-131.
4. Котельников Д.Д., Конюхов А.И. Глинистые минералы осадочных пород. М.: Недра, 1986. 247 с.
5. Осипов В.И., Соколов В.Н. Глины и их свойства. Состав, строение и формирование свойств. М.: ГЕОС. 2013. 576 с.
6. Основы палеонтологии: справочник палеонтологов и геологов СССР (губки, археоциаты, кишечнотелостные, черви) / под ред. Ю. А. Орлова. М.: Изд-во АН СССР, 1962. Том 2. 486 с.
7. Основы палеонтологии: справочник палеонтологов и геологов СССР (моллюски, головоногие) / под ред. Ю. А. Орлова. М.: Изд-во АН СССР, 1958. Том 6. 486 с.
8. Пармузина Л.В. Верхнедевонский комплекс Тимано-Печорской провинции (строение, условия образования, закономерности размещения коллекторов и нефтегазоносность). СПб.: Недра, 2007. 152 с.
9. Стукова Т.В., Пономарева Ю.А., Федотов И.С. Опыт палинологических исследований в нефтяной геологии // Вестник Пермского университета. Геология. 2019. 4 (18). С. 296-306.
10. Тельнова О.П. Морфология и ультраструктура девонских прازیнофітов (CHLOROPHYTA). Палеонтол. журн. 2012. №5. С. 99 – 105.
11. Шумилов И.Х., Тельнова О.П. Стадия литогенеза девонских отложений на среднем Тимане (бассейн р. Цильмы) // Вестник ИГ Коми УрО РАН. № 4. 2014. С. 16-19.
12. Щемелинина А.А. Палинокомплексы в живецких отложениях Павловского района (Воронежская антеклиза) // Вестник Воронеж. ун-та. Серия: Геология, 2013. № 2. С. 193-197.
13. Chamberlain, J. A. Jr., Chamberlain, R. B. & Brown, J. O. A mineralized alga and acritarch dominated microbiota from the Tully Formation (Givetian) of Pennsylvania, USA. Geosciences, 2016, 6(4), 57, (38 pp.).
14. Schieber J., Baird G. On the Origin and Significance of Pyrite Spheres in Devonian Black Shales of North America // Journal of Sedimentary Research, 71, №. 1, 2001. Pp. 155-166.

ПЕРСПЕКТИВЫ ЗОЛОТОНОСНОСТИ КОР ВЫВЕТРИВАНИЯ ПРОМЫСЛОВСКОЙ ПЛОЩАДИ (ЗАПАДНЫЙ УРАЛ)

В ходе поисковых работ на Промысловской площади (Горнозаводский район, Пермский край) изучены коры выветривания. Проведены полевые и лабораторные исследования, анализ ранее выполненных работ.

Выделены линейные коры выветривания трещинного типа, связанные с дизъюнктивными нарушениями субмеридиональной, северо-северо-восточной и северо-северо-западной ориентировки; контактового и карстового типа, развитые по контактам различных литологических разностей пород: карбонатов и сланцев, сланцев и кварцито-песчаников, сланцев и интрузивных пород; остаточные элювиальные коры выветривания площадного развития — результат разложения кристаллических силикатных пород; инфильтрационного типа, трассирующие участки интенсивной циркуляции подземных вод, обогащённых гидроксидами железа и марганца и образующие бурожелезняковые и марганцевые руды, часто на контакте карбонатных пород со сланцами.

Оценен потенциал золотоносности кор выветривания, характеристики частиц золота, содержащегося в них. Выделена перспективная зона, где произведена оценка прогнозных ресурсов золота.

Ключевые слова: Урал, Вишерско-Висимская депрессия, Пермский край, Промысла, коры выветривания, золото

V. N. Goldyrev, V. A. Naumov, S. B. Kovrizhnykh, M. M. Agafonova

Perm State University, Perm, vg121297@yandex.ru

PROSPECTS FOR THE GOLD CONTENT OF THE WEATHERING CRUST OF THE PROMYSLOVSKAYA AREA (WESTERN URALS)

The weathering crusts were studied in the course of exploratory work on Promyslovskaya Square (Gornozavodsky district, Perm Krai). Field and laboratory studies were carried out, as well as an analysis of previously performed works.

Linear crusts of the fracture type weathering associated with disjunctive disturbances of the submeridional, north-north-eastern and north-north-western orientation are distinguished; contact and karst type crusts developed from the contacts of various lithological differences of rocks: carbonates and shales, shales and quartzite sandstones, shales and intrusive rocks; residual eluvial crusts of weathering of areal development-the result of decomposition of crystalline silicate rocks; infiltration type, tracing areas of intensive circulation of underground water enriched with iron and manganese hydroxides and forming brown limestone and manganese ores, often at the contact of carbonate rocks with shale.

The potential of the gold content of the weathering crusts and the characteristics of the gold particles contained in them are estimated. A promising area is identified, where the estimated gold reserves are estimated.

Keywords: Ural, Vishersko-Visim depression, Perm region, Fisheries, weathering crusts, gold

Введение

В настоящее время популярность поисков и добычи золота в России и в Пермском крае значительно возросла. На территории Пермского края на сегодняшний день имеются 23 лицензии на разведку и разработку золотых месторождений. Однако добыча (в 2019 году – 255 кг) ведется исключительно из россыпных месторождений. Из рудных объектов известно только одно месторождение - Кварцевая Гора в Горнозаводском районе ($C_1 + C_2 = 1396$ кг [4, 16]). Перспективы остальных проявлений рудного золота не ясны. В связи с низкой рентабельностью разработки коренных месторождений и постепенным истощением запасов россыпного золота в Пермском крае, все большее значение приобретает обнаружение нетрадиционных типов экзогенных месторождений. И в первую очередь — это месторождения золотоносных кор выветривания и россыпные объекты с весьма мелким и тонким золотом (МТЗ) [5, 8-10, 12, 23].

Одним из наиболее перспективных геолого-промышленных типов на сегодняшний день являются золотоносные коры химического выветривания, которые широко развиты на западном склоне Урала. Под золотоносной корой выветривания понимаются залегающие на месте продукты химического выветривания, содержащие рудные концентрации золота. Ее промышленную ценность определяет не только “россыпеобразующее” (гравитационно извлекаемое традиционной промывкой) золото, но и тонкие его классы, не извлекаемые традиционными гравитационными методами [6, 18, 22].

Золотоносные коры выветривания являются важным резервом воспроизводства минерально-сырьевой базы золота на территории Пермского края. Поэтому основной целью исследования является изучение геологии кор выветривания, выявленных в пределах комплексной Промысловской площади, и оценка перспектив их золотоносности.

Методика исследования

Полевые и лабораторные работы выполнены в рамках поисковых работ на Промысловской площади в 2012-2014 гг (рис. 1). Сотрудники ЕНИ ПГНИУ под руководством профессора ПГНИУ, д.г.-м.н. Наумова В.А. проводили шлиховое мелкообъемное опробование, лабораторные исследования, принимали участие в проектировании и камеральных работах.

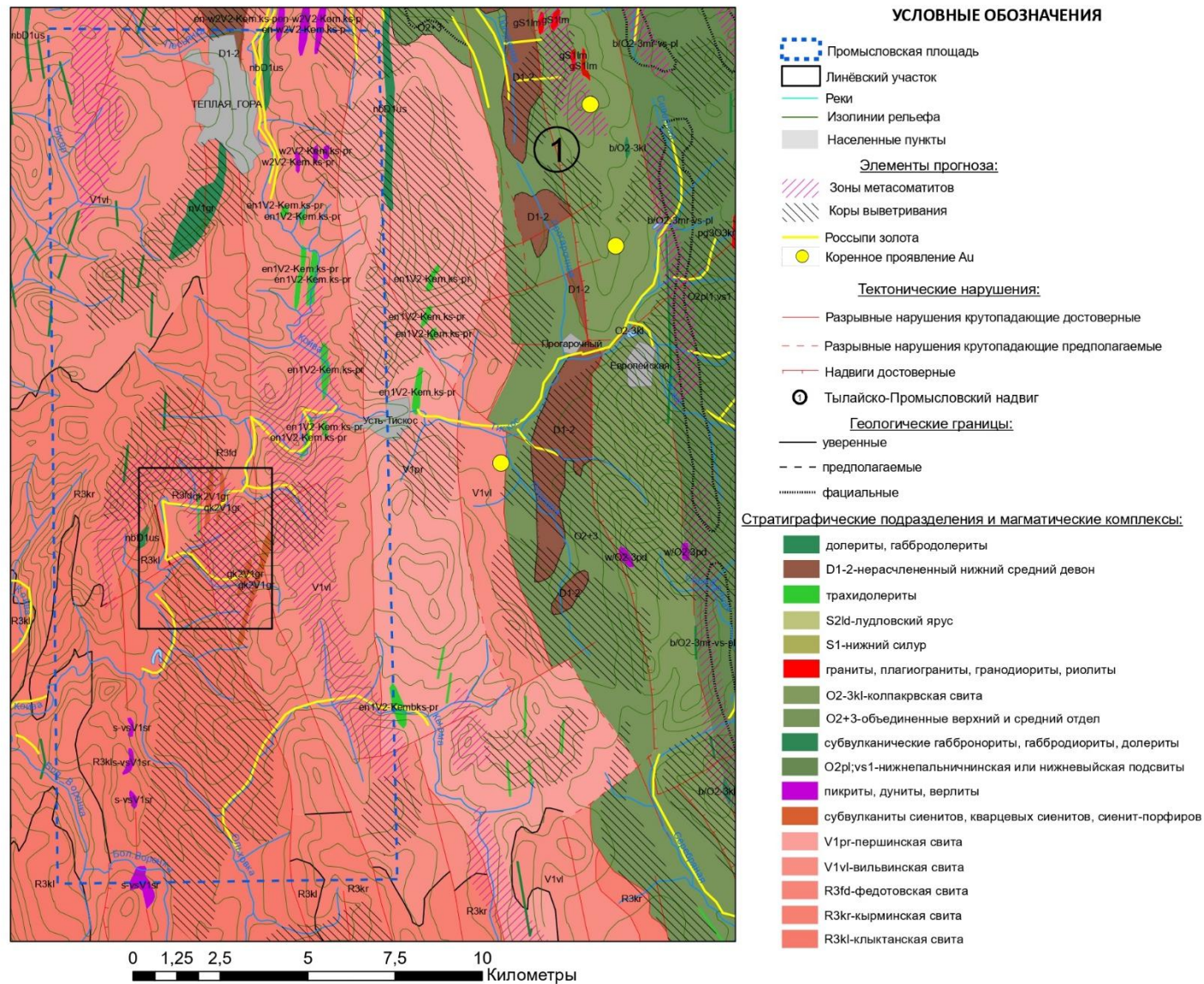


Рис. 1. Схема геологического строения (геологическая основа - Пунтусова, 2002) Промысловской площади с элементами прогноза

Комплекс лабораторных работ проведен в Секторе наноминералогии ПГНИУ. Для изучения условий распределения золота и сопутствующих компонентов в рудах и вмещающих породах и закономерностей их локализации проведены следующие виды лабораторных исследований: 1) атомно-абсорбционный анализ на золото борздовых и керновых проб; 2) минералогический анализ шлиховых проб и проб-протолочек, в том числе изучение морфологии золотин, определение пробности золота и микрозондовый анализ; 3) микроанализ методом ИСР масс-спектрометром. Минералогические анализы выполнены д.г.-м.н. Осовецким Б.М., д.г.-м.н. Наумовой О.Б., н.с. Синкиной И.В. и к.г.-м.н. Илалтдиновым И.Я. Микрозондовые анализы и микроанализы выполнены д.г.-м.н. Осовецким Б.М., к.г.-м.н. Казымовым, к.хим.н. Волковой М.А.

Камеральные работы были выполнены в научно-исследовательской Лаборатории геологии осадочных и техногенных месторождений ЕНИ ПГНИУ. Работы включали поиск, обработку, анализ и интерпретацию известных фактических и фондовых материалов (геологические карты, научные работы, отчеты предшественников, космоснимки), полевых наблюдений и лабораторных испытаний.

Результаты

Характеристика кор выветривания. Формирование кор выветривания тесно связано с историей развития климата и рельефа района. В позднем мезозое тектоническая стабилизация и гумидный климат современной территории западного Урала обеспечили преобладание процессов химического выветривания, что привело к интенсивному формированию кор выветривания площадного и линейного типов, выравниванию рельефа (пенепленизации) с весьма совершенной механической осадочной дифференциацией. В зоне повышенной проницаемости пород в результате формирования складчатой зоны линейного типа Урала образуется крупная отрицательная морфоструктура - Вишерско-Висимская эрозионно-структурная депрессия. Параллельно с ней формируются мезозойские поверхности выравнивания с развитыми в их пределах корами химического выветривания. В процессе каолинового выветривания все горные породы, кроме жильного кварца и кварцита, были превращены в глинистую массу каолинового состава [3, 13, 19].

Распространение кор выветривания линейного и площадного типа, в основном, приурочено к зонам тектонических нарушений, причём наибольшее их развитие наблюдается на площадях развития пород клыкчанской свиты (R_3kl), особенно на контакте с перекрывающими федотовскими отложениями (R_3fd). Помимо линейно-трещинных кор выветривания, в пределах Промысловской

площади выделены линейно-контактовые, остаточные элювиальные и инфильтрационные коры выветривания площадного типа.

Линейно-трещинные коры выветривания связаны с дизъюнктивными нарушениями субмеридиональной, северо-северо-западной и северо-северо-восточной ориентировки. Приурочены к периклинальному замыканию структуры Каменногорского антиклинория. Глубина проработки от первых метров до 10-20 м и более. На контакте клыктанской и федотовской свит по р. Линёвка коры выветривания вскрыты на глубине 280 м [21]. Мощность кор выветривания составляет около 50-70 м, при ширине выхода на поверхность до 100-300 м. Протяжённость непрерывных выходов достигает 10 км. Состав кор выветривания, преимущественно, гидрослюдисто-монтмориллонитовый и гидрослюдисто-каолининовый. Размерность материала – песчанисто-алевритовая. Цвет пёстрый: жёлтый, оранжевый, белый, светло-серый, коричневато-серый, голубовато-серый, сиреневый, тёмно-серый, зеленовато-серый, желтовато-коричневый, тёмно-бурый, вишнёвый (за счёт неравномерной гематитизации) (рис. 2, 1). Часто коры выветривания представляют собой дезинтегрированные милониты, иногда маршаллиты (рис. 2, 2).



1



2

Рис. 2. Линейно-трещинные коры выветривания: 1- гидрослюдисто-каолининовые, 2- маршаллитовые.

По результатам геохимического опробования, изученные коры выветривания характеризуются повышенными значениями содержания Fe; Mn; Ni; Zn; Nb и пониженными Ti; V; Ga; Rb; Zr; Ba; La; Pb. В тяжёлой фракции шлиховых проб обнаружены: магнетит (0,5-35%); гематит (0-78%); ильменит (0-59%); гидрогётит (5-92%); эпидот (0-12%); слюды (0-1%); монацит (0,1-8%); лейкоксен (0,5-42%); ортит (0-5%); циркон (0-16%); пиролюзит (0-82%). Помимо перечисленных минералов, в отдельных пробах определены: анатаз, рутил, брукит, сфен,

доломит, хлорит, амфибол, пироксен, гранат, ставролит, дистен, корунд и рудные минералы – пирит, пирротин, киноварь, хромит, золото и платина.

Линейно-контактные и линейно-карстовые коры выветривания развиты по контактам различных литологических разностей пород: сланцев и карбонатов, сланцев и кварцитопесчаников, сланцев и интрузивных пород и т.п. Как правило, связаны с линейно-трещинными корами выветривания. Наиболее развиты в поле распространения пород клыктанской свиты [7]. Так, на контактах переслаивающихся кварцитопесчаников, сланцев и доломитов встречаются желтовато-коричневые, желтовато-серые, коры выветривания. Кварцитопесчаники часто превращены в маршаллиты, а доломиты – в доломитовую муку [20]. На контакте углисто-серицит-кварцевых сланцев и углефицированных кварцитопесчаников образуются коры выветривания слабой химической проработки [21].

Остаточные элювиальные коры выветривания образуются в результате разложения кристаллических силикатных пород и имеют площадное повсеместное развитие. Однако имеют незначительные мощности – 0,5-1,5 м. Залегают на коренных породах любого состава или элювии. Как правило, перекрыты делювиальными образованиями. Остаточные коры выветривания монтмориллонит-гидрослюдистого состава (ржаво-тёмно-бурого цвета) развиты над частью массива габброидов г. Дублинский Камень. Их площадь распространения составляет 300×1000 м, а мощность достигает 30 м (рис. 3). Повышенная мощность вероятно связана с широким развитием разрывной и трещинной тектоники [7].



Рис. 3. Остаточные элювиальные коры выветривания габброидов, Дублинский массив.

Инфильтрационные коры выветривания выделяются на участках интенсивной циркуляции подземных вод, обогащённых гидроксидами железа и марганца. Формирование гидроксидов происходит как в остаточных корях выветривания (появление красновато-бурой окраски верхнего горизонта коры выветривания), так и в породах не затронутых выветриванием, что приводит к появлению плёнок гидроксидов по трещинам кливажа и отдельностям в различных породах [7]. В результате этих процессов образуются марганцевые и бурожелезные рудопроявления, часто на контакте карбонатных пород со сланцами. Руды имеют вид конкреций бурого и тёмно-бурого цветов неправильной округлой формы до 15 см в диаметре (рис. 4). Такие руды пользуются значительным распространением на площади в поле развития отложений клыкчанской свиты и входят в состав Бисерской группы рудников.



Рис. 4. Конкреции бурого железняка

Золотоносность кор выветривания. В пределах депрессионных зон мелкое и тонкое золото из россыпеобразующих и связанное золото из нероссыпеобразующих формаций в результате физико-химических процессов переотложения могло укрупняться и осаждаться в межзерновом пространстве обломочных образований и на разнообразных геохимических барьерах [11]. Вторичные процессы разложения и переотложения золота в зонах развития кор выветривания способствовали его заметному укрупнению [6, 18]. Механическая дифференциация и перебив глинистого материала кор выветривания приводили к формированию локально обогащенных линз и зон грубообломочного материала аллювиальных россыпей, подвешенных над зонами развития кор выветривания [13].

На Линёвском участке (рис. 1, рис. 5) по результатам атомно-абсорбционного анализа бороздовых проб из шурфов можно выделить слабо золотоносный объект протяжённостью 1,6 км, шириной 60-120 м (в среднем - 90 м), с содержанием тонкого золота 460-952 мг/т (среднее - 648 мг/т). В пробах, отобранных из керна мелкометражных скважин получено содержание 10-300 мг/т, в единичных пробах до 700 мг/т.

Золото достоверно встречается до глубины 52-54 м, где на контакте кор выветривания с мраморизованными известняками клыктанской свиты получены значения до 690 мг/т. Наиболее продуктивными являются коричневые, темно-коричневые и желтовато-коричневые, часто обохренные коры выветривания с обломками мраморизованных известняков и доломитов на контакте с карбонатами клыктанской свиты, иногда с Fe-Mn включениями и конкрециями лимонита (рис. 4). Содержание золота достигает 1920 мг/т [7].

Морфология золота кор выветривания.

В корях выветривания, распространено золото обычно изометрического (комковатого) и уплощенного облика, а также неправильной формы, слабо обработанное с поверхности. Степень окатанности довольно низкая (1-2, реже до 3 баллов, по Н.В. Петровской [15]). Встречается также практически неокатанное золото (до 5%). Отдельные частицы металла относятся к хорошо окатанным (до 4-5 баллов).

По результатам минералогического анализа шлиховых проб из кор выветривания можно констатировать повсеместное наличие в единичных знаках весьма мелкого (0,1-0,25 мм) и тонкого ($< 0,1$ мм) золота [7]. Встречаются пробы с присутствием большого количества знаков пылевидного золота (крупностью менее 50 мкм). Такое золото часто не дает «весового» содержания, однако можно предположить, что фактическое его содержание в опробованных породах может быть на несколько порядков больше обнаруженного. Это золото отличается особым агрегатным строением, довольно рыхлое и может распадаться на еще более мелкие частички при даже слабых механических воздействиях при обогащении.

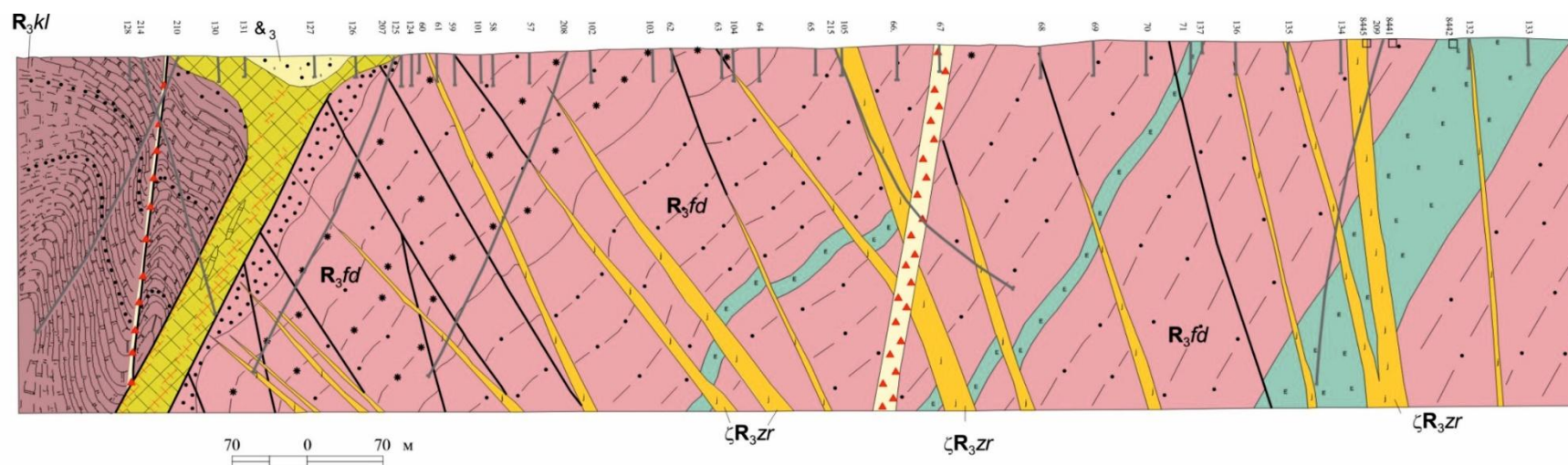


Рис. 5. Геологический разрез по буровому профилю в районе р. Линевка (Ушков, 1981 ф)

1-2 - олигоцен ($\&_3$): 1 - галечники; 2 - линейно-трещинная кора выветривания; 3 - журавликский комплекс (ζR_{3zr}): кварцевые сиенит-порфиры; 4-7 - федотовская свита (R_{3fd}): 4 - сланцы слюдисто-кварцевые; 5 - сланцы амфибол-хлорит-альбитовые по эффузивам основного состава; 6 - сланцы слюдисто- кварцевые и углисто-кварцевые; 7 - кварцитопесчаники; 8 - клыктанская свита (R_{3kl}): известняки и доломиты с прослоями кварцитопесчаников, серицит-(хлорит)-кварцевые сланцы; 9 - кварцевые жилы; 10 - тектонические брекчии; 11 - тектонические нарушения; 12 - скважины; 13 - шурфы

Наличие «агрегатного» золота является одной из типичных форм проявления золоторудной минерализации в корях выветривания, сформированных по породам черносланцевой толщи. Оно представляет собой скопления микро- и наночастиц часто ртутистого золота и амальгам золота, которые удастся извлечь гравитационными способами благодаря достижению агрегатами размеров предела, позволяющего их извлечь данными методами, т.е. порядка 100-50 мкм. Можно предполагать, что значительная часть таких агрегатов, имеющих меньшие размеры, была разрушена при механическом воздействии и потеряна при гравитационном обогащении на винтовом шлюзе [1, 2, 14].

Заключение.

Таким образом, практическую значимость могут иметь коры выветривания линейного типа. Линейно-трещинные коры выветривания представляют собой важный резерв для воспроизводства минерально-сырьевой базы золота на территории Пермского края. Так, на Линевском участке выделена полоса распространения линейно-трещинных кор выветривания, протягивающихся в меридиональном направлении и приуроченных к геохимическому барьеру на тектоническом контакте доломитизированных известняков клыктанской и углеродистых сланцев федотовской свит.

По результатам бурения поисковых скважин и геофизических работ подтверждено наличие мощных кор выветривания до глубины 100 м. Содержание золота с отметки 5 м составляет 0,1-0,3 г/т, следовательно, при оценке прогнозных ресурсов учтен лишь приповерхностный интервал мощностью 2 м (с учетом делювиальных отложений), средней мощностью до 3 м. Принятые параметры для расчёта прогнозных ресурсов следующие: ширина зоны выхода на поверхность 120 м; протяженность – 2900 м; площадь 0,35 км²; содержание Au по данным атомно-абсорбционных анализов – 0,6-2,0 г/т (среднее содержание – 0,7 г/т); объемный вес руды – 2,2 т/м³. Прогнозные ресурсы золота в корях выветривания по категории Р₂ составят $350\,000\text{ м}^2 \times 2,0\text{ м} \times 2,2\text{ т/м}^3 \times 0,7\text{ г/т} = 1,1\text{ т}$.

Библиографический список

1. Бадьянова И.В. Особенности нанозолота черносланцевой формации // Геология и полезные ископаемые Западного Урала. Пермь, 2013. С. 3-7.
2. Бадьянова И.В., Суслов С.Б., Осовецкий Б.М. Типы минерализаций кор выветривания черносланцевых толщ Горнозаводского района Пермского края // В книге: Уникальные литологические объекты через призму их разнообразия. Материалы 2-й Всероссийской школы студентов, аспирантов и молодых ученых по литологии. Отв. ред. А.В. Маслов. 2016. С. 88-90.
3. Баранников А. Г. Научное наследие Анатолия Павловича Сигова, его значение на современном этапе при прогнозной оценке площадей на благороднометалльное оруденение на Урале // Известия Уральского государственного горного университета. УГГУ. Екатеринбург, 2015. С. 34-48.

4. Брюхова М. И. Отчет по геол. съемке м-ба 1:10000 и поискам на рудное золото в р-не г. Кварцевой проведенным в 1958-62 гг. 1963.
5. Казаков П.В., Салихов Д.Н. Полезные ископаемые Республики Башкортостан (россыпное золото). – Ч. 2. – Уфа: Гилем, 2006. – 288 с.
6. Калинин Ю.А. Золотоносные коры выветривания юга Западной Сибири : Особенности распространения, состава и строения, условия формирования : диссертация ... доктора геолого-минералогических наук. - Новосибирск, 2003. - 396 с.
7. Логутов Б.Б., Суслов С.Б., Осовецкий Б.М., и др. Поисковые работы на выявление месторождений рудного золота в углеродистых терригенно-карбонатных породах Промысловской площади Горнозаводского района Пермского края. 2014.
8. Лунев Б.С., Наумов В.А. Мелкое золото - главное золото нашей планеты // Геология и полезные ископаемые Западного Урала. 2000. С. 50.
9. Лунев Б.С., Наумов В.А., Наумова О.Б. Мелкие ценные минералы в аллювии // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. 2003. № 6. С. 53.
10. Лунёв Б.С., Наумов В.А., Наумова О.Б. Мелкие ценные минералы в аллювии Пермского края // Естественные и технические науки. 2011. № 3(53). С. 250-251.
11. Наумов В.А., Силаев В.И., Чайковский И.И., Мальцева М.В., Хазов А.Ф., Филиппов В.Н. Золотоносная россыпь на реке Большой Шалдинке на Среднем Урале. Пермь, 2005. 92 с.
12. Наумов В.А., Лунев Б.С., Наумова О.Б. Мелкие ценные минералы россыпей // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки. 2010. № 4(158). С. 123-126
13. Наумов В. А., Коврижных С. Б. Основные черты формирования золотоносных россыпей на западном склоне Среднего Урала // Вестник Пермского университета. Геология. Т. 17. № 2. 2018. С. 164-170.
14. Осовецкий Б.М. Природное нанозолото. Пермь: Изд-во Пермского университета, 2013. 176 с.
15. Петровская Н.В. Самородное золото. – М: Наука, 1973, 345с.
16. Прозоровский С. Б. Отчет о результатах детальных поисков рудного золота в пределах Кварцевогорской рудной зоны на территории Горнозаводского района Пермской области, проведенных в 1977-1981 г.г. 1981.
17. Пунтусова Г.О. и др. Отчет по теме: «Составление прогнозно-металлогенической карты масштаба 1:200 000 Северного и Среднего Урала в пределах Центрально-Уральского поднятия и Западно-Уральской зоны складчатости». ФГУП «Геокарта-Пермь», Пермь, 2003. 232 с.
18. Росляков Н.А. Геохимия золота в зоне гипергенеза. Новосибирск: Наука, 1981.
19. Сигов А. П. Металлогения мезозоя и кайнозоя Урала. М.: Недра, 1969. 269 с.
20. Синяев А.И. Отчет о результатах предварительной разведки Кырминского месторождения маршалитов, проведенной в 1958-61 гг. в Чусовском районе Пермской области с подсчетом запасов на 01.01.1963 г. – Промысла, 1963. ТФ Пермь.
21. Ушков Б.К., Тетерин И.П., Шевченко В.И., Петухов С.Н., Суслов С.Б., Пачин П.М. Отчет о геологическом доизучении масштаба 1:50 000 площади бассейна среднего течения р.Койвы и верхних течений р.р. Туры и Серебрянки в пределах листов О-40-59-В и Г в Горнозаводском районе Пермской области и Кушвинском районе Свердловской области за 1977-1981гг. Пермь, 1981. ТФ, Пермь. 499л.
22. Шило Н.А. Учение о россыпях. М.: Изд-во Академии горных наук, 2000. 632 с.
23. Roslyakov N.A., Kirillov M.V., Morozova N.S., Zhmodik S.M., Kalinin Y., Nesterenko G.V., Roslyakova N.V., Belyanin D.K., Kolpakov V.V. Unconventional gold placers of the China tectonic depression (Vitim plateau, East Siberia) / Russian Geology and Geophysics. 2013. Т. 54. № 5. С. 483-494.
24. Наумов В.А., Казымов К.П., Осовецкий Б.М., Наумов В.А. Кристалломорфология и химический состав золота ледниковой области развития россыпей территории Юкон (Канада) // Вестник Пермского университета. Геология. 2010. № 1. С. 24-32.

МЕТОД КОМПЬЮТЕРНОЙ ТОМОГРАФИИ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ НЕФТЯНОЙ ГЕОЛОГИИ

Большую проблему на предприятиях нефтяной геологии при бурении коллекторов нефти вызывают осложнения, связанные с потерей устойчивости ствола скважины. В связи с этим весьма актуальным является получение информации о литолого-петрографических, минералогических, структурно-текстурных свойствах пород коллекторов нефти и газа. В данной работе уделено особое внимание томографическому исследованию образцов как одному из наиболее перспективных методов оценки происходящих в породе изменений. По результатам томографии выявлены 2 фактора влияющих на изменение размеров трещин: разбухание внешней зоны образцов, приводящее к сужению периферийных трещин с одновременным расширением внутренних и закупорка крупных открытых трещин твёрдой фракцией бурового раствора при фильтрации раствора внутрь образца. Томографические исследования керн с измерением трещин позволяют отследить незначительные структурно-текстурные изменения породы и решить задачу выбора оптимального бурового раствора для закрепления стенок скважин.

Ключевые слова: коллектора нефти и газа, рентгеновская томография, структурно-текстурные свойства горных пород, размеры трещин.

K.P. Kazymov, A.S. Lebedeva
Perm State University, kazymov@psu.ru

COMPUTED TOMOGRAPHY METHOD FOR SOLVING PROBLEMS OF PETROLEUM GEOLOGY

A big problem at the enterprises of petroleum geology when drilling oil reservoirs is caused by complications associated with the loss of stability of the wellbore. In this regard, it is very important to obtain information on the lithological and petrographic, mineralogical, structural and textural properties of rocks in oil and gas reservoirs.

In this work, special attention is paid to the tomographic study of samples as one of the most promising methods for assessing the changes occurring in the rock. According to the results of tomography, two factors were revealed that affect the change in the size of the cracks: the swelling of the outer zone of the samples, leading to the narrowing of the peripheral cracks with the simultaneous expansion of the inner ones, and the plugging of large open cracks with the solid fraction of the drilling fluid when the solution is filtered into the sample.

Tomographic core studies with fracture measurements allow tracing minor structural and textural changes in the rock and solving the problem of choosing the optimal drilling fluid for securing the walls of the wells.

Key words: oil and gas reservoirs, X-ray tomography, structural and textural properties of rocks, fracture sizes.

В процессе вскрытия горных пород в результате контакта с технологическими жидкостями, используемыми при бурении и освоении скважины, изменяются состав, механические и физико-химические свойства этих пород. В течение длительного времени в целях организации безопасной проходки скважин ком-

паний «ПермьНИПИнефть» исследуются терригенные породы, встречающиеся на пути к нефтесодержащим отложениям. Так, если в многометровой толще, залегающей выше продуктивных горизонтов нефти, встречаются слабые, малоустойчивые породы, способные к осыпанию, то они могут служить источником обрушений стенок скважин, приводящих к осложнению при бурении разведочных скважин на нефть. Следовательно, существует необходимость в поиске способа предотвращения негативного влияния таких пород в процессе бурения. С этой целью в Секторе наноминералогии Пермского Государственного Национального Исследовательского Университета проводятся исследования представленных компанией образцов терригенных пород, извлеченных в процессе бурения разведочных скважин.

В качестве примера проводимых исследований, ниже приводится оценка воздействия бурового раствора на один из таких образцов, сравнительная характеристика его микро- и макроскопических изменений после замачивания, а также 3D снимки распределения трещин, пор и включений в образце породы.

Для проведения исследований использовался метод рентгеновской томографии, основанный на различии плотностей минералов горной породы, включений, пустот и трещин, а также заполняющих их пластовых флюидов.

Рентгеновская томография («просвечивание» контролируемого объекта рентгеновским излучением с получением рентгеновского изображения на детекторе. Метод рентгеновского контроля является методом неразрушающего контроля различных объектов и в том числе методом исследований горных пород. При помощи рентгеноскопии можно определять структурные и текстурные особенности горных пород - коллекторов нефти и газа.

Минералого-петрографические исследования петрографический анализ горных пород в шлифах, и в аншлифах, минералогический анализ микрофотографирование структурно-текстурных особенностей пород

Методика проведения исследований

При изучении изменений в породе под влиянием бурового раствора использован рентгеновский томограф марки Nikon Metrology XT H 225+180 LC (Nikon Metrology Europe NV, Великобритания), а также следующие программные обеспечения: CT-PRO 3D, VGStudio MAX, Matlab, ImageJ. Первым делом проводилась съёмка образцов при подходящих параметрах: разность потенциалов [кВ], сила тока [мкА], выдержка [с], количество проекций — 3142, два кадра усреднения. Затем производилась реконструкция объёмных растровых моделей.

Для расчета характеристик микропустотного пространства коллекторов (числа трещин и пор), а также для построения карт трещиноватости и пористости пород применялся специальный алгоритм, позволяющий рассчитать среднее число трещин в образце. С этой целью образец разбивался на элементы в форме параллелепипедов, ориентированных перпендикулярно преобладающему направлению трещин, с сечением, равным разрешающей способности томографа (20 мкм). Затем подсчитывалось число трещин в каждом параллелепипеде и измерялась степень их раскрытости (величину поперечного сечения). При ана-

лизе микропористости объем образца разбивался на элементы в форме цилиндров с аналогичным сечением, в которых подсчитывалось число и размер пор. При построении карт трещиноватости и пористости суммировались величины раскрытости трещин или число пор, определенных в каждом элементе образца (в форме параллелепипеда или цилиндра). Построенные карты отражают изменение трещиноватости и пористости в различных частях образца.

Так как образцы эталонных компонентов образцов не были предоставлены, границы яркости определялись оператором визуально, исходя из структуры образцов.

Важным преимуществом рентгеновской томографии при изучении изменений, происходящих в структуре породы, является возможность неразрушающего и в то же время информативного способа получения данных.

Результаты исследования

1. Макроописание

Макро-описание образца, представленного на рисунке 1, позволяет установить следующие особенности:

- образец представлен углесодержащим аргиллитом, для которого характерна пелитовая тонко- местами грубодисперсная структура, усугублённая появлением микро-чешуек гидрослюд;
- текстура не ясно выраженная ступенчато-слоистая, разорванная зеркалами скольжения, иногда покрытыми смоляным углем;
- на отдельных участках поверхности слоёв установлена трещиноватость, представленная серией разнонаправленных трещин длиной от 5-7 до 22-27 мм, кроме того, между слоями встречаются трещины длиной до 17 мм при толщине 0,03 мм.



Рис. 1. Аргиллит, общий вид: поверхность образца ровная по поверхности слоя, наблюдается ступенчатый излом с зеркалами скольжения

Таким образом, можно сделать вывод, что в процессе бурения на участке развития описанных отложений возможно осыпание отдельных фрагментов.

После обработки образца буровым раствором на нефтяной основе, при его повторном описании установлено, что:

- сохранилась пелитовая тонкодисперсная, а местами грубодисперсная структура;
- проявилась слоистость, не установленная при предварительном описании образцов. Для образца характерны не ясно выраженная параллельно-слоистая текстура (толщина слоев от 0,1-0,3 до 3,0-3,4 мм). Излом ровный, ступенчатый с зеркалами скольжения.

2. Результаты томографии

Для исследуемого образца разрешение томографии составило 25 мкм.

По результатам томографии подготовлены изображения пустотного пространства, срезы томограмм, карты трещиноватости, и гистограммы распределения размеров (раскрытия) трещин до и после воздействия раствора для образца.

Изображения пустотного пространства и срезы томограмм служат для визуального сравнения и оценки изменений в образце.

Карта трещиноватости отражает интегральный результат автоматических измерений и подсчёта трещин - накопленную раскрытость трещин в объёме образца. Грань региона, по которой строится карта трещиноватости, выбирается исходя из наглядности и зависит от преобладающего направления трещин в конкретном образце. Как правило, выбранная грань параллельна преобладающему направлению трещин.

Результаты численных измерений трещин в образце представлены в таблице 1. Увеличение раскрытости трещин, а также появление некоторых микротрещин хорошо прослеживается на рисунках 2а-4б. Сравнение количества и размера трещин в образце до и после замачивания приведено на рисунке 5.

По представленным выше изображениям пустотного пространства, срезам томограмм и картам трещиноватости, выявлены 3 фактора влияющих на изменение пустотного пространства:

- увеличение раскрытия трещин;
- появление новых микротрещин;
- забивание открытых трещин твёрдой фракцией бурового раствора при фильтрации раствора внутрь образца.

3. Визуализация результатов



Рис. 2а. Трещины в образце до пропитывания. Оттенками синего показаны трещины, матрикс не показан (прозрачен)

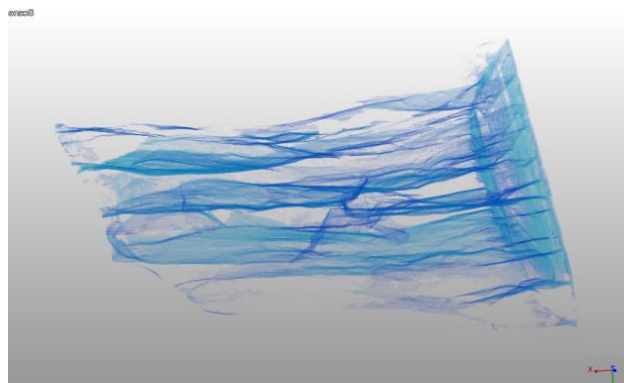


Рис. 2б. Трещины в образце после пропитывания. Оттенками синего показаны трещины, матрикс не показан (прозрачен)

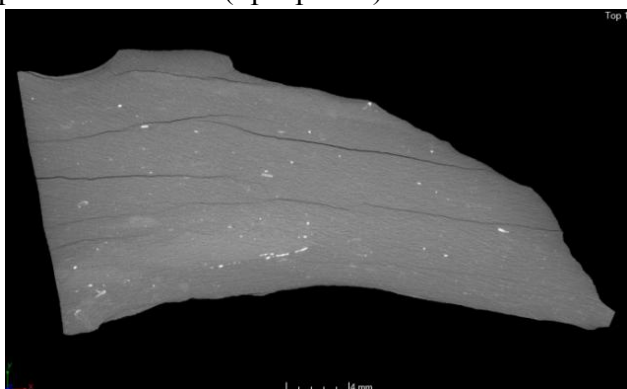


Рис. 3а. Срез томограммы образца до пропитывания. Плотность показана градиентом серого

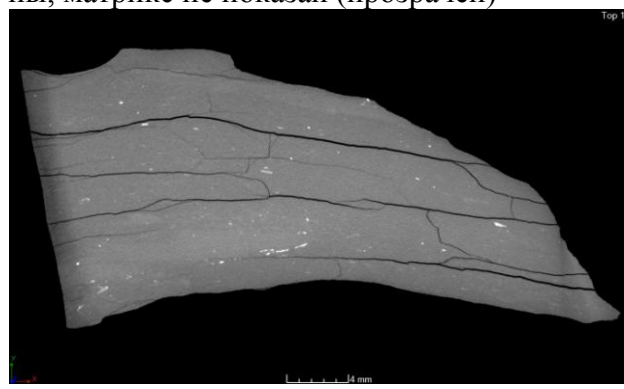


Рис. 3б. Срез томограммы образца после пропитывания. Плотность показана градиентом серого

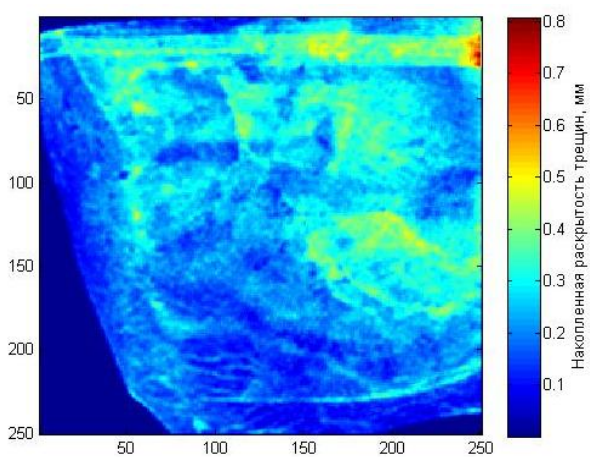


Рис. 4а. Карта трещиноватости образца до пропитывания. Цветом показана накопленная раскрытость трещин в соответствии со шкалой справа на глубину образца.

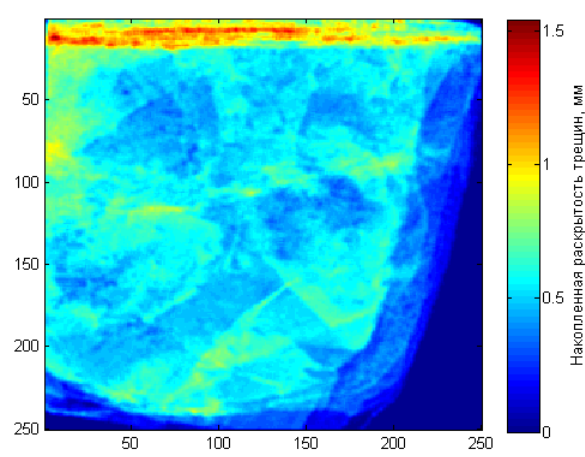


Рис. 4б. Карта трещиноватости образца после пропитывания. Цветом показана накопленная раскрытость трещин в соответствии со шкалой справа на глубину образца.

Таблица 1. Результаты измерения и подсчёта трещин в образце

Размер трещин, мкм	p3_1			
	До замачивания		После замачивания	
	Число пересечений	Доля трещин, %	Число пересечений	Доля трещин, %
<23,1	472	0,27	908	0,3
23-46	424	0,24	1197	0,4
46-69	73683	41,82	37883	14,0
69-92	45411	25,77	36936	13,7
92-116	38331	21,76	53282	19,8
116-139	10730	6,09	58490	21,7
139-162	4860	2,76	47701	17,7
162-185	1369	0,78	21356	7,9
185-208	636	0,36	6795	2,5
208-231	169	0,10	2262	0,8
231-254	51	0,03	867	0,3
254-277	23	0,01	690	0,3
277-300	10	0,01	533	0,2
300-323	8	0,00	357	0,1
323-347	8	0,00	191	0,1
347-370	2	0,00	103	0,0
370-393	2	0,00	34	0,0
393-416			28	0,0
416-439			20	0,0
439-462			8	0,0
462-485			1	0,0
485-508			1	0,0
Сумма:	176189	100,0	269643	100,0
Изменение числа трещин, %	-		34,6584	
Объём образца, куб.мм	11772,48			
Средняя накопленная раскрытость трещин, мм	0,2143	0,4929		
Изменение средней накопленной раскрытости, %	-	56,5226		

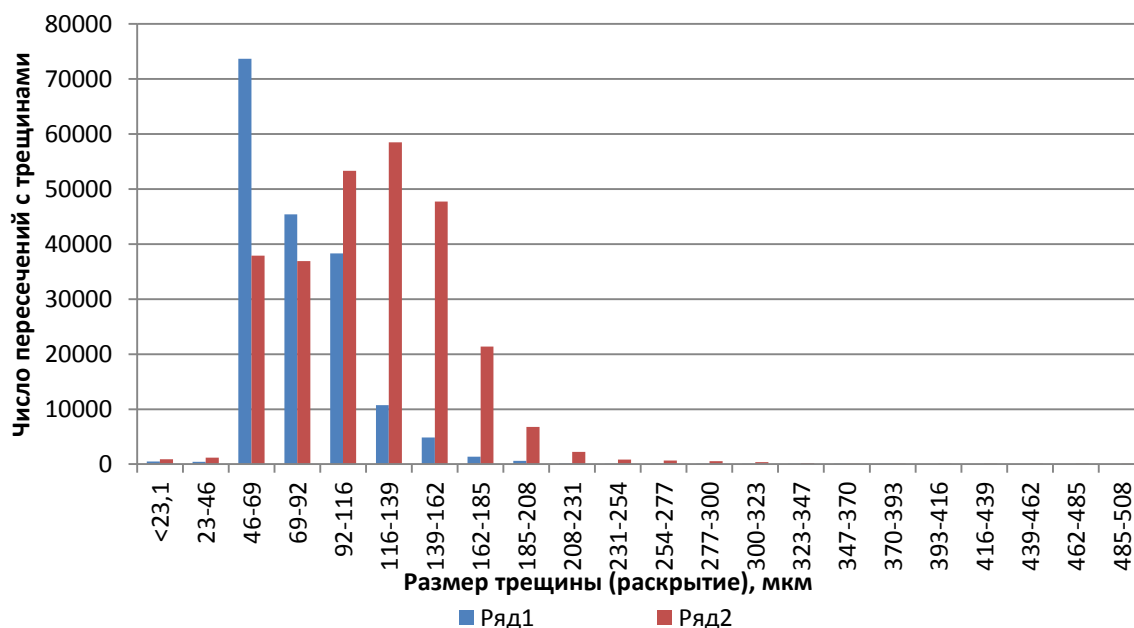


Рис.5. Количество и размеры трещин в образце до и после замачивания

Заключение

В ходе научно-исследовательской работы проведено макроскопическое описание исследуемого образца до и после замачивания, выявлены и описаны его видимые изменения. Затем, с помощью томографа Nikon Metrology XT H 225+180 LC проведена томография образца до и после замачивания, после чего произведена реконструкция полученных растровых изображений в программном обеспечении CT-PRO 3D. Далее 3D модели обработаны в программном обеспечении VGStudio MAX, там же получены изображения пустотного пространства и срезы томограмм. Затем, в программном обеспечении Matlab с помощью специального алгоритма подсчитаны трещины, доли трещин в объеме образца и по полученным численным результатам построен график сравнения количества и размеров трещин в образце до и после замачивания. С помощью программы ImageJ для наглядности 3D модели образцов визуализированы в видео формате.

По результатам подсчетов суммарное число трещин в образце увеличилось на 34,66%, при этом средняя раскрытость увеличилась на 56,52%.

В ходе измерения параметров трещинного пустотного пространства выявлены следующие факторы, влияющие на их изменение в процессе взаимодействия с буровыми растворами:

- разбухание породы образца, приводящее к увеличению размеров трещин и появлению новых микротрещин;
- забивание крупных трещин твёрдой фракцией раствора в результате фильтрации раствора внутрь образца по этим трещинам.

Исходя из полученных данных, можно сделать вывод, что применяемый в исследовании состав бурового раствора не соответствует предъявленным к

нему требованиям, так как он не обеспечивает предотвращение осыпания стенок скважин в процессе бурения.

При моделировании воздействия на пористое пространство песчаного коллектора последовательно исследованы процессы фильтрации бурового раствора, вызова притока и обработки кислотным составом. Полученные данные позволяют производить обоснованный расчет фракционного состава микрокольматантов, вводимых в состав бурового раствора, давать оценку его ингибирующих свойств и принимать надежные решения по использованию кислотных составов.

Библиографический список

1. Некрасова И.Л., Казымов К.П., Предеин А.А. и др. Изменение состава и структуры терригенных пород под воздействием буровых растворов;
2. Казымов К.П., Молоштанова Н.Е. Литогенетические особенности горных пород, вмещающих продуктивные отложения нефти Нижнекаменноугольной терригенной толщи / Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2020. 8 с;
3. Физический энциклопедический словарь / гл.ред. А.М. Прохоров. М.: Советская энциклопедия, 1983. 928 с;
4. Гаршина О.В., Казаков Д.А., Некрасова И.Л. и др. Применение метода рентгеновской томографии для оценки влияния технологических жидкостей на горные породы в процессе бурения и освоения скважин / Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2020. 5 с;
5. Ибламинов Р.Г. Геология месторождений полезных ископаемых: учебное пособие для студентов, обучающихся по направлению подготовки бакалавров "Геология"/Р. Г. Ибламинов.-Пермь:ГПНИУ,2019, ISBN 978-5-7944-3408-8.-231.-Библиогр.: с. 220-224
6. Казымов К.П., Молоштанова Н.Е. Литогенетические особенности нижнекаменноугольной терригенной толщи севера пермского края, вмещающей продуктивные отложения нефти // Вестник Пермского университета. Геология. 2019. Т. 18. № 4. С. 356-361.
7. Казымов К.П., Багаев А.Н., Жданов В.М. Изотопия и морфология новообразованных карбонатов карбонатно-сульфатного массива Ледяная гора // Вестник Пермского университета. Геология. 2015. № 2 (27). С. 17-25.

К ВОПРОСУ ОБ ОБРАЗОВАНИИ ОЗЕРА НЮХТИ В СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ СОЛИКАМСКОЙ ДЕПРЕССИИ

Представлено геологическое строение территории, прилегающей к озеру Нюхти. Сохранение небольших возвышенностей по краям мульды оседания обусловлено особенностями развития карстовых процессов в сопряженных синклинальных и антиклинальных структурах. Инверсия рельефа в северной части Верхнекамского месторождения сохранилась в результате защитного действия насыщенных рассолов, стекающих по краям «соляного зеркала» в пределах антиклиналей. Талые воды многолетнемерзлых пород в периоды межледниковий значительно пополняли гидрогеологические горизонты в покровной толще месторождения.

Ключевые слова: озеро Нюхти, Верхнекамское месторождение, Соликамская депрессия, мульды оседания, дренажная система, ледниковый покров, инверсия рельефа

N.V. Lavrova, O.V. Galinova, M.V. Bogomaz
Mining Institute, Urals branch of RAS, icecave@mi-perm.ru

The geological structure of the territory adjacent to Lake Nyukhti is presented. The preservation of small elevations at the edges of the subsidence muld is due to the peculiarities of the development of karst processes in the conjugated syncline and anticline structures. The inversion of the relief in the northern part of the Verkhnekamskoye field was preserved as a result of the protective action of saturated brines flowing down along the edges of the "salt mirror" within the anticlines. Meltwater of permafrost rocks during interglacial periods significantly replenished the hydrogeological horizons in the cover layer of the deposit.

Keywords: lake Nyukhti, Verkhnekamskoye field, Solikamsk depression, subsidence mulds, drainage system, ice cover, relief inversion

Одно из крупных озер Пермского края - озеро Нюхти расположено на водоразделе двух притоков реки Язьвы – Колынвы и Глухой Вильвы. Площадь озера составляет 5,4 км, поперечники 3,5 х 2 км, глубина 1-3 м, отметка уреза воды 132,8 м. Озеро в радиусе 6-8 км окружают небольшие возвышенности высотой 60-80 м, абсолютные отметки рельефа от +195 до +212 м. Атмосферное питание озера подтверждается малым содержанием солей 0,07-0,1 г/дм³ [1].

Разведочные скважины Верхнекамского месторождения в пределах северной части Соликамской депрессии, где находится озеро Нюхти, позволяют достаточно полно представить геологическое строение территории (рис. 1). В районе озера до глубины 20 см вскрыты четвертичные отложения, представленные песком, глиной, галечником (скв. 119, 288). Мощность данных отложений увеличивается до 30 м к западу от озера у подножия возвышенности (скв. 949). Меньшая мощность четвертичных отложений до 10-12 м отмечается далее к западу и востоку в долинах рек Вишеры и Глухой Вильвы (скв. 262, 973). Рыхлые отложения залегают на породах соляно- мергельной толщи (P₂sl₁), мощность которой составляет 30 м. Мощность данной толщи увеличивается до 50 м в

пределах возвышенности к западу от озера (скв. 948). В пределах возвышенностей сохранилась терригенно-карбонатная толща (P_2sl_2) мощностью 35-40 м (скв. 948, 957). В этих же скважинах на глубине 80-90 м встречены калийные залежи (P_1br_3) мощностью 35 м с покровной солью (P_1br_4) до 10 м (скв. 948). Глубже залегают подстилающая соль (P_1br_2), глинисто-ангидритовая толща (P_1br_1) и карбонатно-сульфатные отложения филипповского горизонта (P_1kr). Подземные воды вскрыты на глубине 4-7 м.

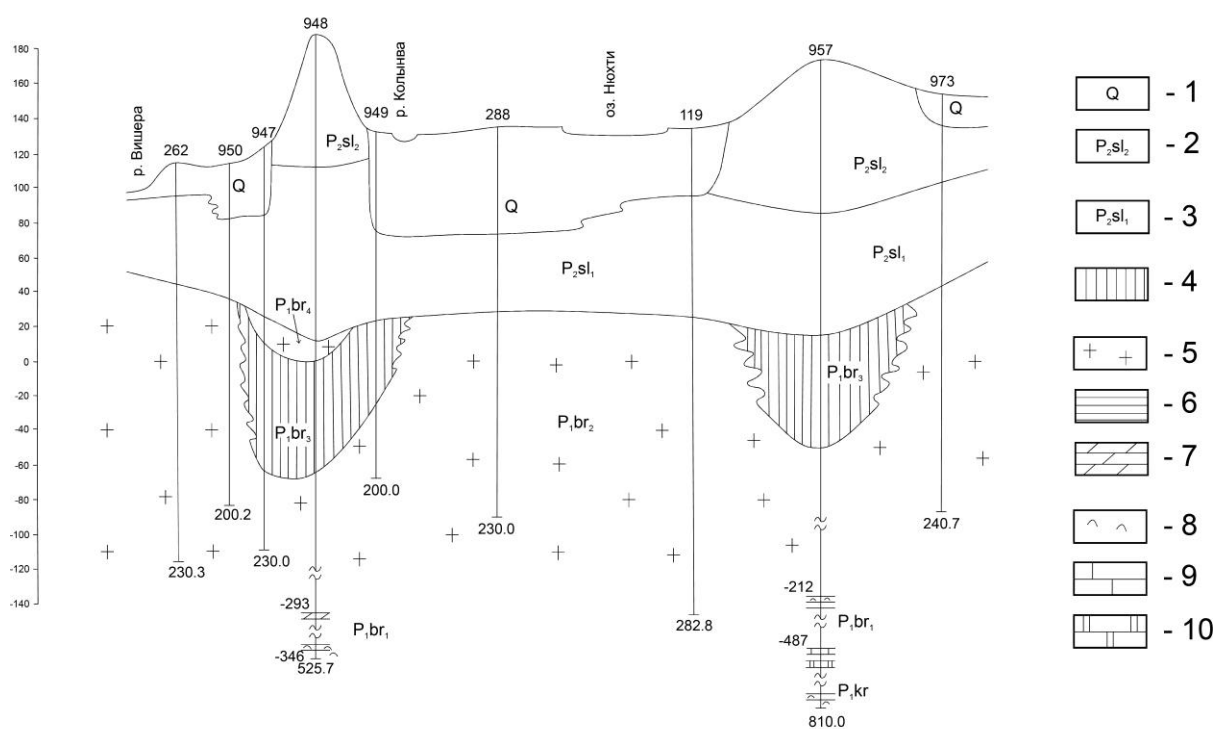


Рис. 1. Геологический разрез в районе озера Нюхти

1—четвертичные отложения, 2—терригенно-карбонатная толща, 3—соляно-мергельная толща, 4—калийная залежь, 5—каменная соль, 6—глина, 7—мергель, 8—ангидрит, 9—известняк, 10—доломит

Инверсия рельефа — приуроченность возвышенностей к синклинальным структурам отмечалась многочисленными исследователями Соликамской впадины [4]. В северной части депрессии описаны обширные мульды оседания, образовавшиеся в результате карстовых процессов на месте антиклинальных поднятий [2]. В процессы растворения здесь были вовлечены покровные, калийно-магниевые и частично подстилающие каменные соли. В пределах синклиналей, которым на поверхности соответствуют локальные возвышенности, сохранились залежи калийно-магниевых солей.

Озеро Нюхти приурочено к перегибу сопряженных складок, где «соляное зеркало» достигло минимальных отметок на определенном этапе геоморфологического развития территории. Интенсивное подземное выщелачивание солей в замках антиклиналей — зонах повышенной проницаемости слагающих толщ привело к оседанию земной поверхности. Насыщенные рассолы на границе вы-

равнивания соляной толщи по краям «соляного зеркала», стекая по крыльям антиклиналей, «защитили» залежи калийных солей, залегающих в синклинальных понижениях, от доступа агрессивных вод и растворения. Соляные растворы уже не проникали далее вглубь, интенсивность растворения снизилась. Подобное явление – отсутствие явных проявлений карстовых процессов по периферии соляных куполов наблюдается для множества месторождений. В краевых частях Илецкого и Солотвинского соляных штоков отмечаются единичные пологие впадины - озера. Как правило, их образование связано с подтоком слабосоленых вод из вмещающих пород к боковым склонам соляных тел [3]. Озеро Нюхти расположено в краевой части мульды проседания, где до настоящего времени сохраняется поступление поверхностных вод со склонов сохранившейся возвышенности.

Насыщение надсолевого комплекса Верхнекамского месторождения происходит за счет атмосферных инфильтрационных вод. В периоды межледниковый объем подземных вод в покровной толще мог значительно пополняться при таянии ледниковых покровов, а также наступлении и деградации вечной мерзлоты. Активные дренажные системы под ледниками, изученные в Швейцарских Альпах, Западных Татрах и Скалистых горах Канады, уходят до водоносных горизонтов на глубину до 100-150 м [5]. Помимо нивелировки рельефа при наступлении ледника на территории месторождения разгрузка талых вод по его периферии, своеобразное "половодье", или "наводнение" в межледниковые периоды провели значительную работу по преобразованию покровной толщи и частично залежей калийно-магниевых солей.

"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. *Дорофеев Е.П.* Озеро Нюхти // Беречь природу Прикамья. Вып. 2. Пермь, 1971. С. 121-122.
2. *Дорофеев. Е.П., Лукин В.С.* Карстовые мульды оседания в северной части Соликамской депрессии // Вопросы карстоведения: Матер. совещ. Пермь, 1969. С. 105-107.
3. *Короткевич Г.В.* Соляной карст. Л.: Недра, 1970. 253 с.
4. *Кудряшов А.И.* Верхнекамское месторождение солей. Пермь, 2001. 429 с.
5. *Pawłowska-Bielawska P.* Evolution of Wielka Snie_на Cave in the light of geomorphologic observations. Karst and Cryokarst. Sosnowiec-Wroclaw. 2007. Pp.155-164.

МИКРОМИНЕРАЛЫ КИМБЕРЛИТОВОЙ ТРУБКИ «НОВИНКА»

Исследована микроминеральная ассоциация в оливинах и связующей массе кимберлитов трубки «Новинка-2» (Якутия) с применением методов электронной микроскопии. С этой целью применен метод сплошного сканирования поверхности аншлифа с идентификацией минеральных зерен размером менее 5 мкм в оливине и определением их химического состава микрозондовым методом. Важное внимание уделено вопросу о формах нахождения микрозерен определенного минерала (микровключения, внешняя оторочка макрокристаллов, агрегаты, продукты изменения и т.д.). Отмечена важная роль изучения микроминералов кимберлитов с целью установления состава протокимберлитового расплава и особенностей заключительной стадии процессов метасоматического преобразования кимберлитов.

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

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

MICROMINERAL ASSOCIATION OF THE NOVINKA KIMBERLITE TUBE

The micromineral association of the Novinka kimberlite tube (Yakutia) is studied with application of scanning electron microscopy methods. The peculiarities of mineral grains up to 5 μm are investigated. The principle of the whole surface scanning is applied with microprobe analysis. The main attention is paid to forms of occurrences for definite minerals. The role of micromineral information is marked, especially for problems of origin and transformation of kimberlites.

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

Введение

Изучению минерального состава кимберлитов посвящено большое количество научных работ. Среди минералов кимберлитов установлено присутствие разнообразных компонентов: ксенокристаллов, минералов связующей массы, вторичных образований наложенных процессов, включений и т.д. Наиболее важными задачами при исследовании минерального вещества кимберлитов являются вопросы, связанные с их происхождением и алмазоносностью.

Именно в связи с необходимостью решения этих проблем особое внимание было привлечено к изучению современными методами микрокристаллов связующей массы кимберлитов. В частности в фундаментальном труде, посвященном оксидным микроминералам в связующей массе кимберлитов Якутии и Архангельской провинции [2] приводится обширная информация на основе детальных электронномикроскопических исследований и дана генетическая си-

стематика основных оксидов (хромшпинелидов, ильменита, перовскита, рутила).

В данной статье автора продолжается развитие того же направления изучения минерального вещества кимберлитов. В отличие от подхода В.К.Гаранина с соавторами [2], нами основное внимание уделено микровключениям в одном из основных пороодообразующих минералов кимберлитов – оливине. Размеры этих микрокристаллов обычно не превышают 5 мкм. Их химический состав является четким индикатором особой обстановки минералообразования, поскольку микровключения относятся к наиболее ранним и соответственно наиболее глубинным продуктам кристаллизации зарождающейся кимберлитовой магмы. Впоследствии они захватываются кристаллами оливина, которые формируются уже на другой глубине и химический состав которых отражает другие условия кристаллизации. Таким образом, микровключения в пороодообразующих минералах кимберлитов, в частности в оливине, свидетельствуют о геохимической среде мантии на таких глубинах, которые еще долгое время будут недоступными человечеству.

Объект и методика исследований

Объектом настоящего исследования являются микроминералы размером менее 5 мкм в кимберлите трубки Новинка-2 (Верхнемунское поле Якутской кимберлитовой провинции). В этой трубке установлено присутствие двух фаз внедрения с формированием порфировых кимберлитов и кимберлитовых брекчий [1]. Из образца кимберлита первой фазы внедрения, 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 и Сектора наноминералогии ПГНИУ. Напыление поверхности аншлифа углеродом выполнено С.В.Мусакуловой. Аншлиф изучен под сканирующим электронным микроскопом JSM 6390LV (Jeol) с энергодисперсионным спектрометром INCA 350 Energy, фирмы Oxford Instruments. Режим работы микроскопа: рабочее расстояние 12 мм, рабочее напряжение 20 кV, сила тока 10 А. Микрофотографирование зерен проведено в режиме обратнорассеянных электронов.

В ходе исследований автором проводилось сплошное сканирование поверхности аншлифа с диагностикой большого количества микроминералов путем выполнения качественных микрозондовых анализов. Количественный микрозондовый анализ и микрофотографирование использовались только для наиболее характерных индивидов. Кроме микроминералов – включений в оливинах, в данной статье представлены результаты изучения морфологии, форм нахождения и химического состава микрозерен связующей массы. Некоторые микрофотографии сделаны также на сканирующем электронном микроскопе с холодной эмиссией JSM 7500F (Jeol).

Результаты исследований

Главной особенностью минерального состава кимберлитов данной трубки является существенное преобладание оливина в составе феннокристов. В его составе отмечено резкое преобладание форстеритового минала (Mg_2SiO_4) – 93,5–95,5%. Доля фаялитового минала (Fe_2SiO_4) не превышает 6%. В небольшом количестве (порядка 0,5%), но постоянно присутствует минал никелевого ортосиликата (Ni_2SiO_4). Только в зернах такого состава изучались микровключения, описанные в данной статье.

Однако представленный выше химический состав соответствует только «свежим» (неизмененным) кристаллам. Остальные зерна оливина испытали на себе сильное воздействие наложенных процессов и последующих фаз кимберлитообразования. Наиболее широко проявляются процессы серпентинизации и карбонатизации. В частности, в оливине сначала появляются зоны серпентинизации и карбонатизации. На конечной стадии образуются псевдоморфозы серпентина по оливину.

Процессы изменения оливина наблюдаются практически во всех кимберлитах. Однако, по данным предыдущих исследователей [6], для данной трубки характерно повышенное количество неизмененных оливинов.

В качестве основных микроминеральных включений в оливине обнаружены хромшпинелид и пикроильменит (табл. 1, рис. 1–4). Кроме того, встречен также самородный никель (рис. 5), в составе которого в качестве примеси присутствует железо (1,91%).

Таблица 1. Химический состав микровключений в оливине трубки Новинка-2, мас. %

Оксид	Хромшпинелиды					Пикроильменит			
TiO_2	5,27	8,88	5,99	5,18	5,05	37,81	41,08	43,23	32,25
Al_2O_3	9,58	7,30	8,71	9,15	10,01	-	0,61	0,41	-
Cr_2O_3	45,95	38,07	44,31	45,17	46,74	0,17	-	0,12	0,10
MgO	12,99	13,91	14,96	13,91	13,51	19,30	14,80	13,16	16,55
FeO^*	25,66	31,17	25,39	25,82	24,26	38,32	35,85	39,11	48,45
MnO	0,41	0,53	0,52	0,56	0,24	2,88	3,60	3,12	2,74
NiO	0,13	0,14	0,13	0,21	0,20	0,31	0,24	-	-

Расчет минального состава микровключений хромшпинелидов в оливине позволяет сделать вывод о том, что в них резко преобладает пикрохромитовый минал (около 50%) и примерно в равных количествах присутствуют шпинелевый и феррохромитовый (около 15%). Всегда в заметных количествах присутствует ульвошпинелевый минал (до 10% и более) (табл. 2).

Такое соотношение миналов для микрозерен хромшпинелидов находится в полном соответствии с химическим составом вмещающих их оливинов и выражается в абсолютном преобладании магнезиальных фаз. Однако, минальный состав микровключений хромшпинелидов в кимберлитовом оливине резко отличается от такового в хромшпинелидах, присутствующих в месторождениях хромитовых руд. В последних всегда преобладает феррохромитовый минал (30–65%) и заметно меньше ульвошпинелевого.

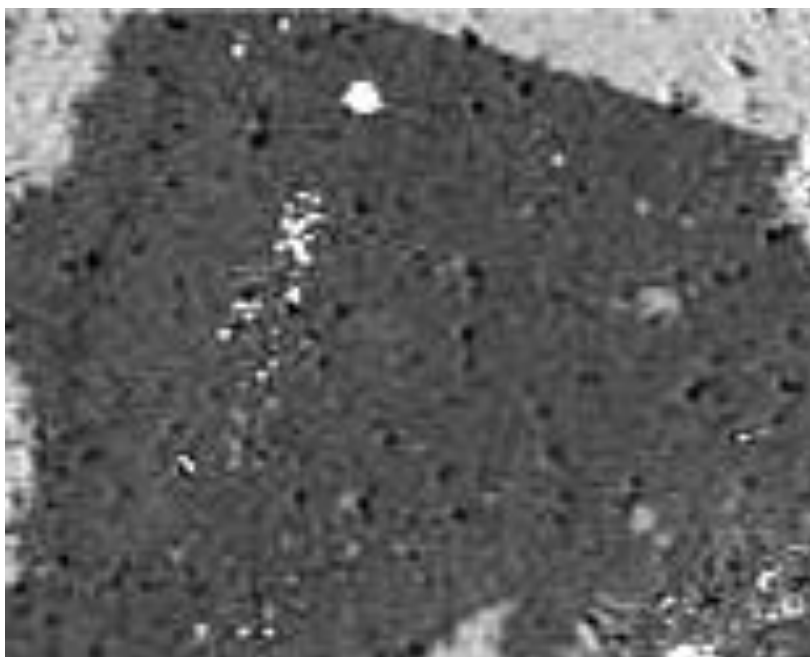


Рис. 1. Зерно оливина с микровключениями хромшпинелида (светлые)

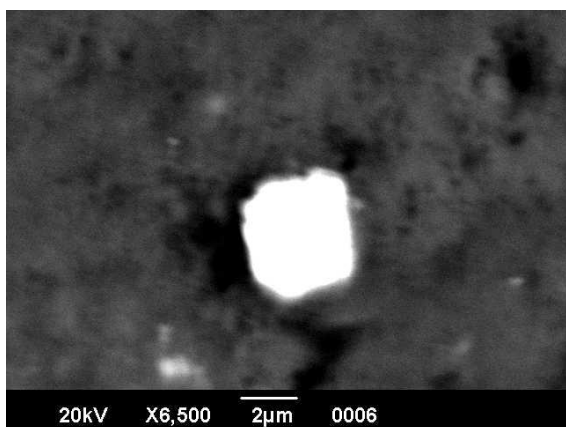


Рис. 2. Хромшпинелид в оливине

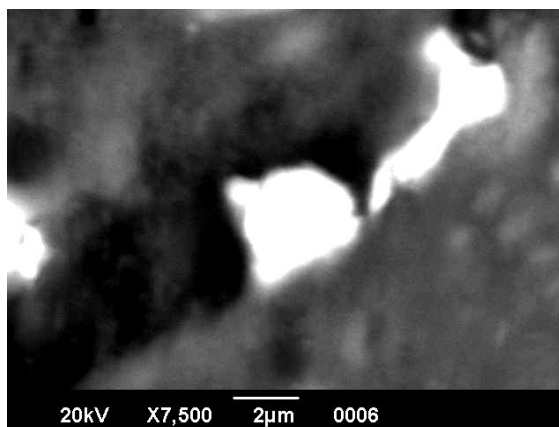


Рис. 3. Пикроильменит в оливине

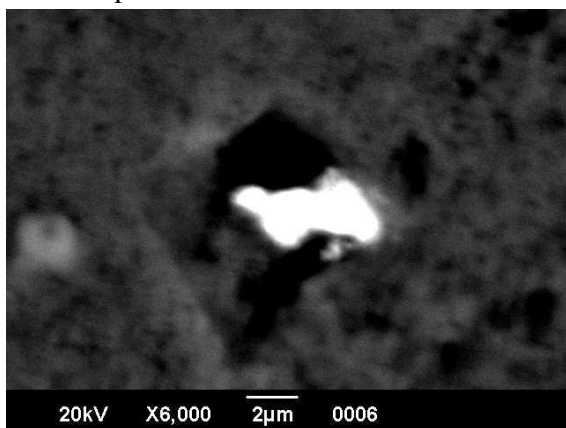


Рис. 4. Пикроильменит в оливине

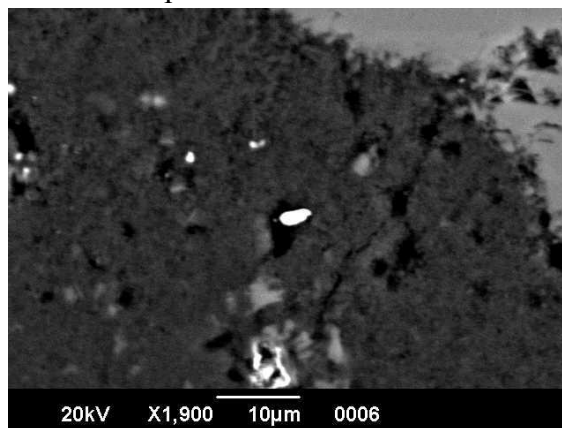


Рис. 5. Никель (в центре) в оливине

Таблица 2. Минеральный состав хромшпинелидов – микровключений в оливине, %

Минал	Формула	1	2	3	4	5
Пикрохромит	MgCr_2O_4	54,0	49,3	48,8	49,5	51,0
Шпинель	MgAl_2O_4	16,5	17,5	14,1	18,4	19,1
Феррохромит	FeCr_2O_4	12,2	17,0	15,0	15,9	14,8
Магнетит	FeFe_2O_4	7,5	8,5	8,8	7,0	6,8
Ульвошпинель	Fe_2TiO_4	7,3	6,4	10,9	6,4	6,3
Якобсит	MnCr_2O_4	1,5	1,5	1,5	1,2	0,8
Сумма		99,0	100,2	99,1	98,4	98,8

Для микровключений пикроильменита в оливинах трубки Новинка-2 характерно резкое преобладание доли гейкилитового минерала (MgTiO_3), которая достигает 90% и более.

Характерными особенностями минеральных микровключений в оливине являются однообразие минеральных видов, низкая их встречаемость, достаточно высокая «стабильность» химического состава, резкое преобладание магнезиальных минеральных фаз и чрезвычайно мелкая размерность (обычно менее 5 мкм).

Наоборот, в связующей массе кимберлита встречаемость микроминералов существенно возрастает. Характерно также большое разнообразие минеральных видов: магнетит, перовскит, ильменит, авгит, серпентин, кальцит, апатит, барит, галенит, сильвин и галит. Формы нахождения этих зерен весьма разнообразны: пленочные выделения, микрокристаллические нарастания на первичных минералах, присутствие в микротрещинах, заполнения пор, микротрещин и каналов, агрегатные полиминеральные образования, псевдоморфозы и т.д. (рис. 6–9).

Все эти особенности микрозерен в составе связующей массы кимберлита являются следствиями развития различных вторичных процессов минералообразования: серпентинизации, карбонатизации, метасоматоза, псевдоморфизации, окисления, засоления и т.д.

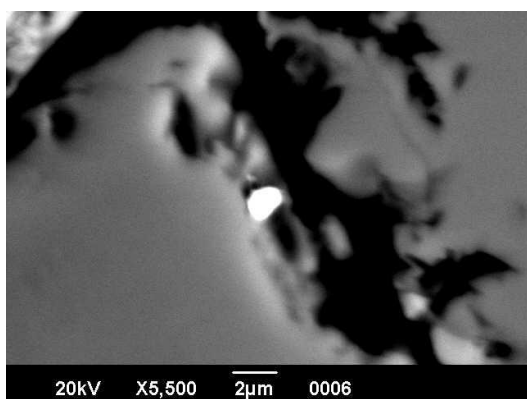


Рис. 6. Зерно галенита в трещине

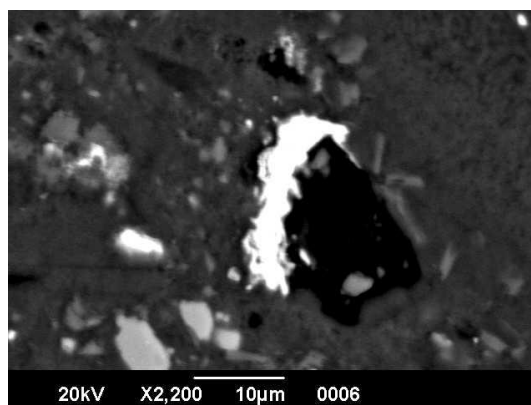


Рис. 7. Ильменит в приконтактной зоне

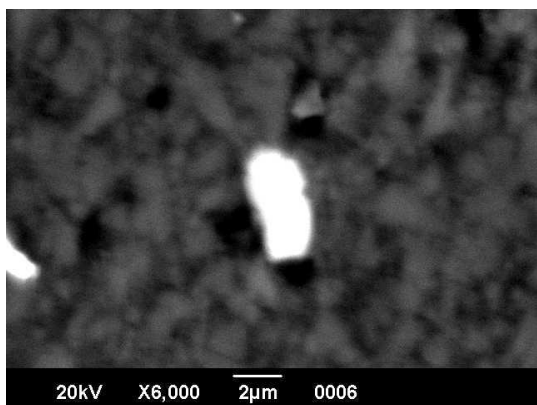


Рис. 8. Апатит в измененном оливине

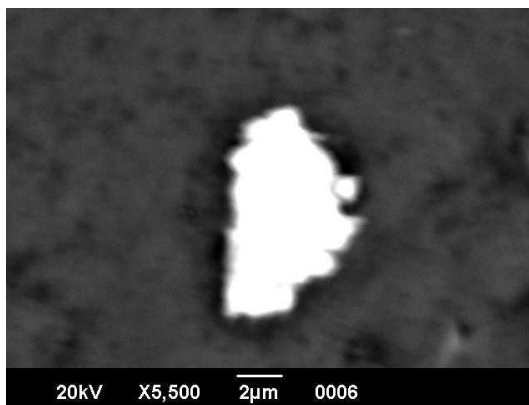


Рис. 9. Магнетит в серпентине

Микроминеральные образования в связующей массе кимберлита могут быть использованы при восстановлении истории преобразования исходного кимберлитового вещества. Они являются более тонкими индикаторами изменения геохимической обстановки среды и дают наглядное представление о разнообразии процессов, происходящих в отдельных зонах кимберлита.

Заключение

Микроминералогия кимберлитов является особым направлением в изучении мантийного вещества. Исследования в этом направлении позволяют получить данные о химическом составе наиболее глубинного вещества мантии. Продолжение целенаправленных исследований аналогичного характера в целях получения достоверной информации о степени алмазоносности кимберлитов и использования ее в дальнейшем при ведении прогнозно-поисковых работ является, с нашей точки зрения, вполне востребованным и имеющим определенные перспективы.

Библиографический список

1. Гаранин В.К. Введение в минералогию алмазных месторождений. М.: Изд-во МГУ, 1989. 200 с.
2. Гаранин В.К., Бовкун А.В., Гаранин К.В., Ротман А.Я., Серов И.В. Микрокристаллические оксиды из кимберлитов России. М.: ГЕОС, 2009. 498 с.
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.
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.
7. Зинчук Н.Н. Особенности типизации и алмазоносности кимберлитов // Вестник Пермского университета. Геология. 2018. Т. 17. № 2. С. 145–163.
8. Осовецкий Б.М. Методика поисков кимберлитов по мелким алмазам // Вестник Пермского университета. Геология. 2009. № 11. С. 19–26.

РАННИЙ ПАЛЕОЗОЙ НА ТЕРРИТОРИИ ЮЖНОГО ПРИТИМАНЬЯ, НАУЧНЫЙ И ПРАКТИЧЕСКИЙ АСПЕКТЫ ЕГО ИЗУЧЕНИЯ

Раннепалеозойская эмерсивная стадия разделена нами на три эпизода: кембрийский, ордовикский и раннесилурийский. Кембрийский эпизод выделен условно на основании изучения пород *помянённой свиты* (Є?–О?), ордовикский эпизод – *полюдовской свиты* (О_{3pl}), раннесилурийский – нижней толщи *колчимской свиты* лландовери (S_{1kl1}). Практическое значение эпизодов раннепалеозойской эмерсивной стадии состоит в том, что в каждом из них установлены перерывы с алмазной минерализацией. Если отложения кембрийского эпизода имеют пока чисто научное значение, то отложения ордовикского и раннесилурийского – открывают перспективы обнаружения новых россыпных алмазных месторождений, в том числе и эолового типа, в Пермском крае.

Ключевые слова: Пермский край, Южное Притиманье, кембрий, ордовик, силур, эмерсивная стадия, алмаз, россыпи.

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

THE EARLY PALEOZOIC IN THE TERRITORY OF SOUTH CIS-TIMAN, SCIENTIFIC AND PRACTICAL ASPECTS OF ITS STUDY

The Early Paleozoic emersion stage is divided into three episodes: the Cambrian, Ordovician, and Early Silurian. The Cambrian episode is conditionally distinguished based on the study of the rocks of the Pomianennovskaya suite (Є?–O?), the Ordovician episode – the Polyudovskaya suite (O_{3pl}), and the Early Silurian episode – the lower strata of the Kolchinskaya suite of Llandovery (S_{1kl1}). The practical significance of the episodes of the Early Paleozoic emersion stage is that in each of them there are breaks with diamond mineralization. If the deposits of the Cambrian episode are still of purely scientific significance, then the deposits of the Ordovician and Early Silurian open up prospects for the discovery of new diamond placers including the Aeolian type in the Perm Region.

Key words: Perm region, South Cis-Timan, Cambrian, Ordovician, Silurian, emersion stage, diamond, placers.

В раннем палеозое на территории Южного Притиманья господствовала эмерсивная тектоническая обстановка, при которой формировались разновозрастные и разные по генезису континентальные отложения. Раннепалеозойская эмерсивная стадия разделена нами на три эпизода, в соответствии с геологическими периодами и фазами каледонского этапа складчатости [8]. Каждому эпизоду соответствует объект исследования, выраженный материально в геологическом времени.

Кембрийскому эпизоду отвечают отложения базальной части полюдовской свиты, получившие название помянённой свиты [2]. Отложения помянённой свиты представлены красноцветными валунно-крупногалечными конгломератами, расцементированными на глубину 2–3 м. Каркас конгломератов,

по данным В.А. Бурневской, состоит из хорошо окатанных галек кварцитопесчаников (80–83%), кварцитов (15%), галек песчаника и кварца (1–2%). Матрикс конгломератов представлен полимиктовым песчаником, в котором характерно присутствие выветрелых и пелитизированных зерен полевого шпата. Песчаный матрикс составляет около половины объема породы. По нашим данным, полимиктовый песчаник матрикса конгломератов на диаграмме В.Н. Шванова попадает в поле кварцевых граувакк, а галька кварцевого песчаника – в поле чисто кварцевых пород, что говорит об их разном генезисе и разновременности образования. При этом необходимо учитывать, что галька в базальных слоях отложений часто заимствуется из более древних пород. Возраст помянённовской свиты не определен, разброс значений велик – от нижнего кембрия до верхнего ордовика ($\text{Є}_1\text{--O}_3$). Мощность 100 м. Отложения помянённовской свиты не образуют обнажений, закартированы узкой полосой в западном обрамлении г. Помянённый Камень.

Помянённовская свита интересна тем, что в ее основании при крупнообъемном опробовании отложений в шурфе ш-31 был обнаружен мелкий алмаз (Бурневская, 1960). Объем пробы 4 м^3 , масса алмаза 7,1 мг, содержание $0,4 \text{ мг/м}^3$. Описание алмаза В.А. Бурневской не приводится. Судя по схеме опробования [4], алмаз мог быть получен из коры выветривания по рифейским терригенным отложениям (RF_{3rs}). Если это так, то находка приобретает важное научное значение. Она косвенно подтверждает рифейский возраст теоретически предполагаемого кимберлитового магматизма в регионе, а также миграцию полезного компонента из одного промежуточного коллектора в другой, начиная с верхнерифейских коллекторов. Это важное условие для формирования силурийских (S_1kl_1) и такатинских (D_1tk) остаточных россыпей [3].

Ордовикскому эпизоду раннепалеозойской эмерсивной стадии отвечают отложения верхней подсвиты полюдовской свиты (O_3pl_3). Они представлены белоцветными средне-мелкогалечными кварцевыми конгломератами с небольшим участием кварцевых гравелитов и песчаников. Слабая сортировка обломочного материала, лучшая окатанность крупных галек при средней их окатанности; форма, как правило, стремящаяся к шаровидной; незакономерное распределение галечного материала в каркасе конгломератов; широкое развитие косой слоистости речного типа с падением косых слойков на запад и северо-запад, – всё это позволило еще Е.В. Владимирской отнести их к аллювиальным отложениям [17]. Конгломераты полюдовской свиты практически полностью кварцевые: каркас их составляет галька кварца, матрикс песчаный кварцевый, цемент кварцевый регенерационный и кварцево-железистый, иногда гидрослюдистый, порового типа. В редких обломках отмечаются кварциты и кремни. Для полюдовских конгломератов характерно полное отсутствие полевых шпатов. В тяжелой фракции пород резко преобладает триада исключительно устойчивых аллотигенных минералов: циркон, лейкоксен, рутил [7], но в зонах разломов могут быть встречены аутигенные барит и игольчатый рутил [10]. Возраст отложений полюдовской свиты не определен, хотя ряд исследователей указывает на их сходство с полуденским горизонтом верхнего ордовика Улсовского раз-

реза [1]. Усматривается также минералогическое единство полюдовской (O_3pl) и хапхарской ($O_{1-2}hp$) свит (Езерский, 2003). Исходя из тектонического строения Северного Урала, устанавливается структурное единство тех же полюдовской и хапхарской свит [15]. При этом на наш взгляд, различия между породами свит – фациальные. Если первые – это континентальные, аллювиальные по генезису отложения, то вторые – прибрежно-морские. Мощность верхней толщи полюдовской свиты 120–300 м.

Промышленная алмазоносность полюдовских отложений до сих пор остается недоказанной. Первоначально при крупнообъемном опробовании, составившем 1500 м^3 , было получено два мелких зерна алмаза [4]. Однако при проведении поисковых работ ЗАО «Уралалмаз» в 2009 году на юге г. Помянённый Камень во фронтальной части Колчимского надвига нами были встречены литифицированные седиментационные брекчии, которые тогда трактовались автором как тектонические [12]. При крупнообъемном опробовании северной части Буркочимской депрессии расцементированные седиментационные брекчии, выполняющие отрицательные формы в рельефе плотика доломитов низьвенской свиты (RF_3nz), оказались продуктивными с перспективой на промышленную алмазоносность [13,18]. От других рыхлых отложений Буркочимской депрессии, преимущественно красноцветных, они отличаются по структурно-текстурным признакам и по характерному желтому цвету. На наш взгляд, источником алмазоносных отложений могли быть промежуточные коллекторы ордовика и силура, а также неоген-четвертичные коры выветривания, развитые по ним.

Раннесилурийскому эпизоду раннепалеозойской эмерсивной стадии отвечают отложения нижней подсвиты колчимской свиты (S_1kl_1). По описаниям предшественников, отложения представлены песчаниками светло-серыми, серыми с зеленоватым оттенком, кварцевыми, мелко- и среднезернистыми, реже разномасштабными и мелкогравийными. Цемент песчаников гидрослюдистый и регенерационный кварцевый, изредка карбонатный. В подошве нижней подсвиты колчимской свиты наблюдаются гравийно-галечные песчаники и конгломераты, седиментационные брекчии [4]. Мощность варьирует от 0 м на северо-западе до 33 м на юго-востоке Полюдово-Колчимской структуры Южного При тиманья. Отложения представлены континентальными фациями временных и небольших водотоков [6], сменяющихся по латерали дельтовыми и мелководно-морскими. После находки ветрогранников нами высказано мнение о наличии эоловых отложений в основании силура [9].

Промышленную алмазоносность силурийской остаточной россыпи можно считать установленной после эксплуатационного опробования, проведенного послойно геологической службой ЗАО «Уралалмаз» в 2010 г. Крупнообъемное опробование показало высокую продуктивность отложений. Стало очевидно, что в Южном При тиманье наряду с такатинским существует еще один промышленно значимый промежуточный коллектор алмазов – силурийский [11].

Однако надо заметить, что промышленная алмазоносность силура доказана только для частично дезинтегрированных отложений [6]. Алмазоносность недавно открытых эоловых отложений с ветрогранниками пока в точности не вы-

яснена. При наличии докембрийских кимберлитовых трубок и рифей-вендских промежуточных коллекторов остаточные эоловые россыпи в основании силура могут оказаться весьма богатыми. В этом отношении характерна аналогия с эоловыми россыпями юго-западной Африки (Намибия, провинция Нумаланд), принятыми за эталон эолового типа россыпей [5]. При этом нужно быть готовым к тому, что потенциально высокоалмазоносные породы могут оказаться крепкими, литифицированными, и учитывать это при выборе технологии обогащения.

Поскольку для Урала эоловый тип предлагается впервые, можно отметить несколько устойчивых поисковых признаков для решения этой проблемы: 1) наличие отрицательных форм в древнем рельефе (котловины выдувания с почти отвесными стенками и щебнистыми развалами); 2) находки ветрогранников в кровле нижележащих и в подошве вышележащих контактирующих толщ; 3) хорошая сортировка алмазов. Первые два признака могут быть установлены еще на стадии поисков колонковым бурением. Третий признак является общим для популяции уральских алмазов – все они хорошо сортированы. Традиционно этот факт объясняется сортировкой в водной среде. Однако эоловая сортировка, когда вмещающие алмазы отложения полностью выдуваются ветром [16], является еще более совершенной, чем аллювиальная или прибрежно-морская. Тогда, на стадии поисков или при проведении ревизионных работ в алмазоносном районе, пожалуй, важнейшим признаком будет являться второй из них – факт нахождения ветрогранников. В таком случае индикатором обломочного материала для поиска остаточных россыпей будет являться не галечник (конгломерат), а щебень (брекчия). Но не любой щебень, а ветрогранники. До сих пор эти природные образования в регионе не находили или, скорее, на них не обращали должного внимания. Между тем, новые находки ветрогранников могут дать поисковый стимул в алмазной геологии Урала.

Таким образом, изучение раннепалеозойской эмерсивной стадии на территории Южного Притиманья приводит нас к выводу, что каждый из описанных эпизодов требует дальнейшего изучения на более обширном материале. А для этого необходимо одно условие – возрождение и продолжение поисково-разведочных работ на алмазы в Пермском крае с концентрацией усилий на поиске остаточных, ископаемых и современных россыпей [14].

Библиографический список

1. *Анцыгин Н.Я.* Основные проблемы стратиграфии ордовикской системы на Урале // Проблемы стратиграфии Урала. Ордовикская и силурийская системы. Свердловск, 1990. С. 1–19.
2. *Бурневская В.А.* Новые данные по стратиграфии додевонских отложений палеозоя Колво-Вишерского края и Печорской впадины // Бюл. МОИП. Т. XLII (2). М.: МГУ, 1967. С. 43–51.
3. *Зинчук Н.Н., Савко А.Д., Шевырев Л.Т.* Историческая минерагения. В 3 т. Т. 1. Введение в историческую минерагению. Воронеж: Воронежский гос. ун-т, 2005. 590 с.
4. *Ишков А.Д.* Источники алмазов Уральских россыпей на примере Красновишерского района // Совещание по геологии алмазных месторождений (тезисы докладов). Пермь: Изд-во «Звезда», 1966. С.32–35.

5. *Кухарено А.А.* Минералогия россыпей. М.: Гос. науч.-тех. изд-во, 1961. 320 с.
6. *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, минерогенез. Материалы 5 Уральского регионального литологического совещания. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2002. С. 164–165.
7. *Осовецкий Б.М.* Минералогия мезокайнозоя Прикамья. Пермь: Изд-во ПГУ, ПСИ, ПССГК, 2004. 292 с.
8. *Пактовский Ю.Г.* Силурийский эмерсивный рубеж на территории Южного Притиманья, теоретический аспект // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении. Науч. чтения памяти П.Н. Чирвинского: сб. науч. ст. / отв. ред. И.И. Чайковский. Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2021. Вып. 24. С. 166–171.
9. *Пактовский Ю.Г.* О ветрогранниках в основании силура в Южном Притиманье (Пермский край) // Учёные записки Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского. География. Геология. Т. 6 (72), №2. 2020а. С. 243–261.
10. *Пактовский Ю.Г.* Игольчатый рутил Помянённого Камня (Пермский Край, Южное Притиманье) // Геология и полезные ископаемые Западного Урала: сб. науч. ст. / под общ. ред. П.А. Красильникова. Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2020б. Вып. 3(40). С. 81–87.
11. *Пактовский Ю.Г.* Новый алмазоносный объект в основании колчимской свиты на Северном Урале // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении. Научные чтения памяти П.Н. Чирвинского: сб. науч. статей / Пермь, 2016. Вып. 19. С. 260–261.
12. *Пактовский Ю.Г., Уткина М.Н.* Ордовикский эмерсивный рубеж на территории Южного Притиманья // 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. Пермь, 2020. Вып. 23. С. 140–145.
13. *Пактовский Ю.Г., Попов А.Г.* Использование скважин большого диаметра для опробования россыпей алмазов на Северном Урале (Пермский край) // Материалы V Всероссийской науч.-практ. конф. с междунар. участием, посвящ. 50-летию Алмазной лаборатории ЦНИГРИ – НИГП АО «АЛРОСА». Мирный, 2018. С. 313–317.
14. *Попов А.Г.* Алмазоносность Урала – XXI век // Научно-методические основы прогноза, поисков, оценки месторождений алмазов, благородных и цветных металлов. X Международная научно-практическая конференция (13–16 апреля 2021 г., Москва, ФГБУ «ЦНИГРИ»). Сборник тезисов докладов. М.: ФГБУ «ЦНИГРИ», 2021. С. 175–176.
15. *Попов А.Г.* Глубинный геологический разрез и тектоника Северного Урала // Вестник Пермского университета. Геология. 2017. Т. 16, №1. С. 26–34.
16. *Устинов В.Н., Мосиги Б., Кукуй И.М., Николаева Э.В.* Эоловые ореолы рассеяния индикаторных минералов кимберлитов // Россыпи и месторождения кор выветривания: изучение, освоение, экология. Мат-лы XV Международного совещания по геологии россыпей и месторождений кор выветривания (РКВ – 2015). Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2015. С. 228–229.
17. *Чочиа Н.Г.* Геологическое строение Колво-Вишерского края. Л.: Гостоптехиздат, 1955. 406 с.
18. *Пактовский Ю.Г.* Стадийность геологического развития территории южного притиманья в позднем протерозое // Вестник Пермского университета. Геология. 2019. Т. 18. № 2. С. 108–124.

ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ РАЗРЕЗ СРЕДНЕГО УРАЛА И ЕГО ГЛАВНЫЕ РАЗЛОМЫ

В статье приведен авторский геологический разрез Среднего Урала по широте сверхглубокой скважины СГ-4 с использованием данных Государственных геологических карт масштаба 1:1000000 нового поколения и Северо-Уральского регионального сейсмологического профиля или трансекта. Кратко описаны главные тектонические разломы.

Ключевые слова: геологический разрез, трансект, тектонические разломы, Средний Урал

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

GEOLOGICAL SECTION OF THE MIDDLE URALS AND ITS MAIN FAULTS

The article presents the author's geological section of the Middle Urals along the latitude of the superdeep well SG-4 using the data of the State Geological Maps of a scale of 1:1,000,000 of the new generation and the North Ural regional seismic profile or transect. The main tectonic faults are briefly described.

Key words: geological section, transect, tectonic faults, Middle Urals

Геологический разрез Среднего Урала построен по линии широты «сверхглубокой» скважины СГ-4 $58^{\circ} 20'$ от 54° до 66° восточной долготы до глубины 9 км (рис. 1; 2). Основой построения разреза послужили данные Государственной геологической карты (ГГК) листов О-40 и О-41 масштаба 1:1000000 и глубинного сейсмологического профиля Средне-Уральского трансекта, международное название ESRU (рис. 3) [1-4; 7; 8].

Структуры разреза первого-второго порядка по И.Д. Соболеву (Тектоническая карта Урала, 1983) и по Схеме тектонического районирования листа О-41 ГГК с запада на восток: Восточно-Европейская платформа (ВЕП), Предуральский краевой прогиб (ПКП), Западно-Уральская зона складчатости (ЗУЗС), Центрально-Уральское поднятие (ЦУП), Тагильско-Магнитогоский прогиб (ТМП) или Тагильский синклиний (ТС), Восточно-Уральское поднятие (ВУП) с Веохотурско-Салдинским антиклинорием (ВСА) и Западно-Сибирская платформа.

Главные разломы разреза с запада на восток – 1) Предуральский разлом, 2) Западно-Уральский надвиг (ЗУН), 3) Главный Уральский разлом (ГУР), 4) Серовско-Маукский, 5) Мурзинский и 6) Тюменско-Чудиновский разломы. Необходимо отметить, что по Средне-Уральскому трансекту эти разломы представлены системами разломов, часто ветвящимися, но с одинаковыми протираниями, падениями и глубиной заложения.

Предуральский, Красноуфимский или Суксунский разлом [1] разделяет Предуральский краевой прогиб и Восточно-Европейскую платформу, по ГКЛ листа О-40 он прослеживается на глубину залегания протерозойских пород до 3 км. Разлом в зависимости от вертикального масштаба можно считать сбросом или надвигом. Внизу в автохтоне залегают верхнепротерозойские преимущественно терригенные породы венда – алевро-аргиллиты, кварцито-песчаники, часто фосфорсодержащие, сланцы, трахиобазальты и кореллиционные тиллиты. Глубже – метаморфические породы рифея – сланцы, кварцито-песчаники, доломиты, мраморизованные известняки, metabазальты с телами расслоенных ультрабазитов и возможных трубок кимберлита. Аллохтон, чехол платформы до глубины 2-2,2 км сложен девон-пермскими породами – известняками, мергелями с песчаниками, конгломератами молассовой формации и эвапоритами.

По геологическому разрезу заложение Предуральского сброса-надвига произошло в пермский период в артинско-уфимское время – 290-260 млн. лет назад. Реальное время образования разлома – не позже пермь-триаса – 252 млн. лет назад, так как не возможно возникновение дизъюнктивного нарушения в процессе осадконакопления.

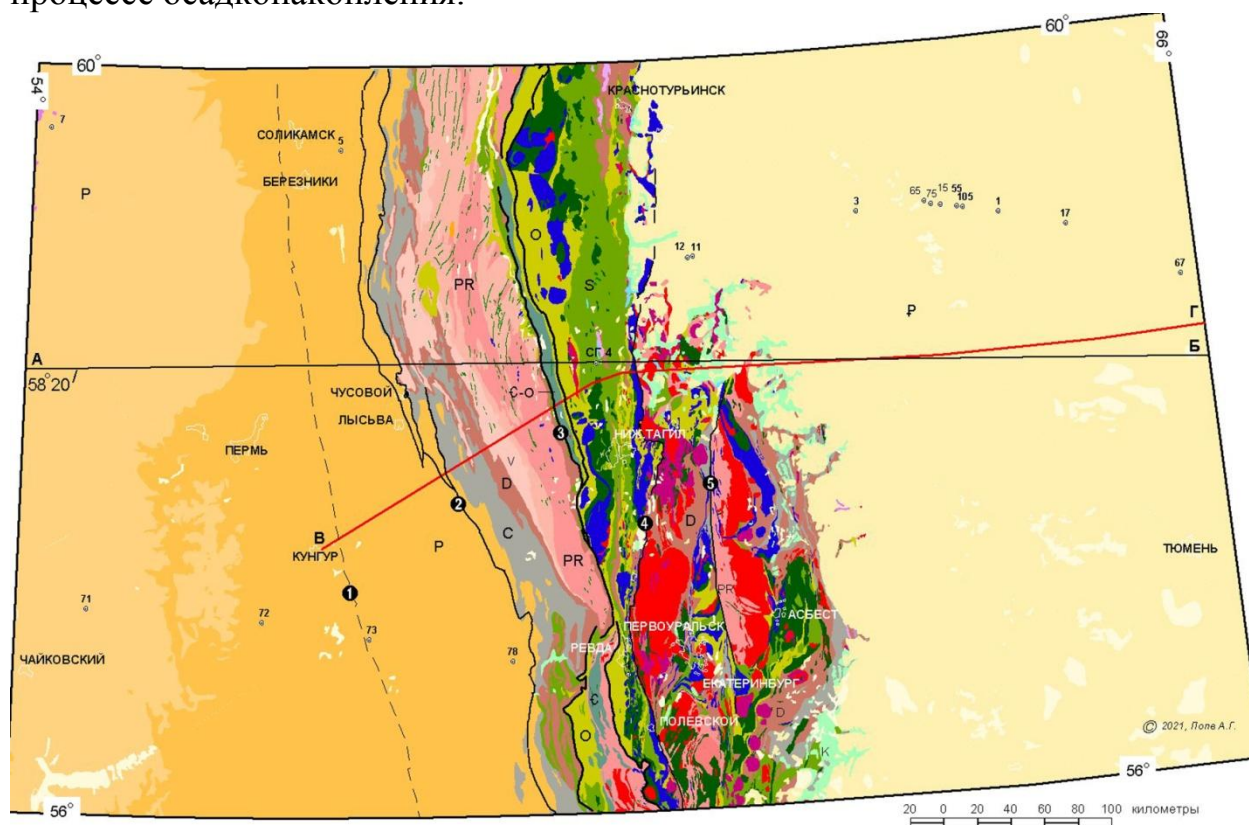


Рис. 1. Геологическая карта Среднего Урала листы О-40 и О-41. Условные обозначения приняты в соответствии с ГОСТ Р 50836-95 «Геологическая картография. Условные обозначения на картах геологического содержания. Общие правила изображения», ГОСТ 2.857-75 «Горная графическая документация. Обозначения полезных ископаемых, горных пород и условий их залегания» и Эталонной базой изобразительных средств Госгеолкарты-200 [8]. Главные разломы: 1) Предуральский, 2) Западно-Уральский надвиг (ЗУН), 3) Главный Уральский разлом (ГУР), 4) Серовско-Маукский, 5) Мурзинский, 6) Тюменско-Чудиновский разломы. А-Б – линия геологического разреза, В-Г - красной линией - сейсмологический Средне-Уральский профиль.

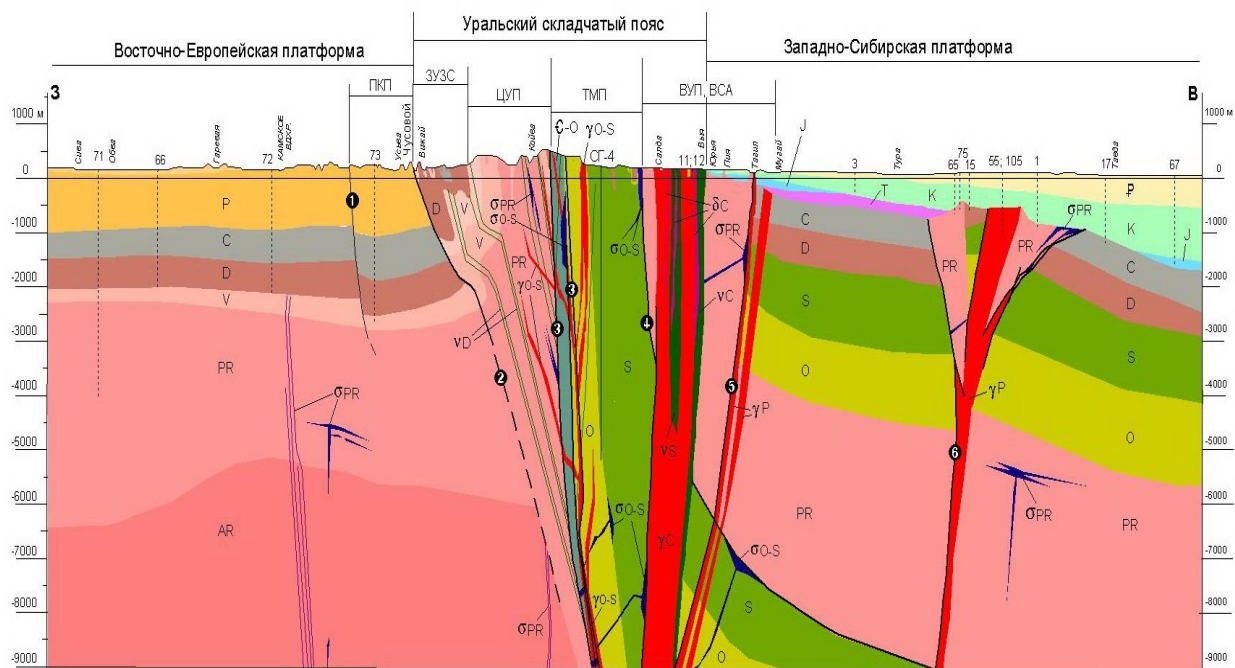


Рис. 2. Геологический разрез по линии А-В

Однако, накопление осадков в прогибе происходило в структурной впадине протерозойских пород, западный борт которого и послужил заложению нарушения.

Западно-Уральский надвиг или *Главный Западно-Уральский надвиг* [1] является региональным надвигом Урала, на Северном Урале пересекается Тиманским разломом на Приполярном Урале – Припечерским разломом северо-западного простирания [6].

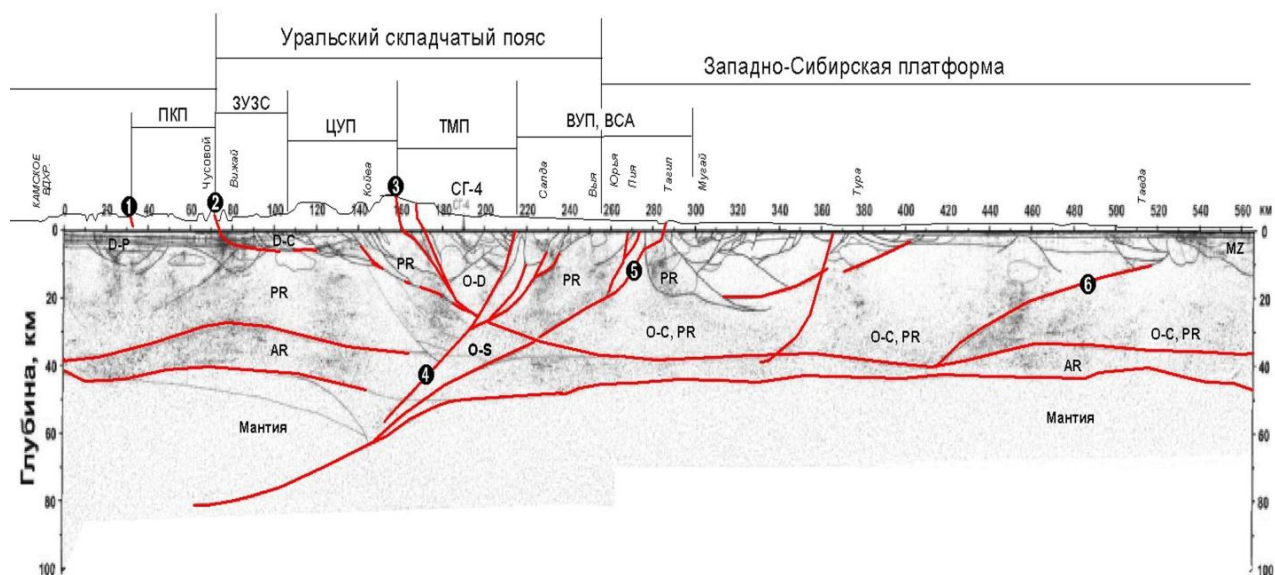


Рис. 3. Глубинный сейсмический разрез по Средне-Уральскому трансекту с главными разломами

Надвиг отделяет Западно-Уральскую зону складчатости от Предуральского краевого прогиба и является западной границей складчатого Урала. Однако некоторые геологи границу между складчатым Уралом и Восточно-Европейской платформой проводят по Предуральскому надвигу. По мнению автора, надвиг не имеет глубинных корней и затухает где-то на глубинах 3-7 км [5]. По Средне-Уральскому трансекту надвиг прослеживается до Главного Уральского разлома (рис. 3). Это объясняется тем, что подошва пластин надвиговой зоны сгущивания или ЗУЗС по сейсмопрофилю рисуется, как некое тектоническое нарушение. Автохтон надвига – это горизонтально залегающие платформенные девон-пермские породы на протерозойском основании, аллохтон – те же породы, смятые в складки сгущивания. Характерной особенностью Западно-Уральской зоной сгущивания является отсутствие магматических пород.

На Северном Урале крылья надвига сложены породами включая нижне-пермские [5]. Заложение надвига аналогично Предуральскому разлому – пермь-триас – 252 млн. лет назад.

Осевой разлом – не является главным и не отражен на карте и разрезе, он разделяет Западно-Уральскую зону складчатости и Централно-Уральское поднятие, хотя устанавливается по сейсмопрофилю, как продолжение Западно-Уральского надвига в виде системы субпаралельных веероветвящихся разломов.

Главный Уральский разлом – основной региональный срединный разлом водораздела Урала разделяющий Централно-Уральское поднятие и Тагильско-Магнитогоский прогиб. В центральной части территории разлом представлен двумя параллельными надвигами, ограничивающие пространство Улсовско-Висимского синклиория или Улсовского желоба. На юге территории в Бардымском аллохтоне разлом представлен серией чешуй. По сейсмопрофилю на глубине 22-23 км он пересекается Серовско-Маукским разломом (рис. 3). В автохтоне надвига на ЦУПе залегают породы аналогичные протерозойскому этажу платформы. В аллохтоне – висячем крыле надвига, на западном крыле Тагильского синклиория – кембрий-ордовикские породы – сланцы, кварцито-песчаники, гравелиты, конгломераты, metabазальты и их туфы. Породы кембрию отнесены по стратотипу козинской свиты с руководящими формами брахиопод [1] и там же по K-Ar методу установлен возраст 405-465 млн. лет [1]. Однако по принятой стратиграфической шкале (Стратиграфический кодекс, 2006; Cohen et al., 2013; vsegei.ru, [8]) возраст кембрия составляет 565 или 570-485 млн. лет. И получается, что возраст этих пород скорее ранеордовикский. В чешуях аллохтона наблюдаются силурийские породы – на севере в истоках Улсовско-Висимского синклиория (Улсовского желоба) и на юге в Бардымском аллохтоне, в котором силурийские породы представлены известняками и доломитами.

Начало время заложение надвига по разрезу и геологической карте – постсилурийское, раннедевонское – 419 млн. лет назад. Тектонические подвижки формирования разлома продолжались до позднего девона по породам крайней западной пластине надвига в Бардымском аллохтоне и закончились на границе девон-пермь – 298 млн. лет назад.

Серовско-Маукский разлом – отделяет Тагильско-Магнитогоский прогиб от Восточно-Уральского поднятия в виде региональной пластины с кислыми интрузиями в подчиненном количестве средних и основных интрузий. Разлом является подводящим каналом переплавленного материала с глубинного слеба, на глубине 40-60 км.

Возраст разлома по внедрению и кристаллизации кислых расплавов отвечает в основном раннему карбону – 358 млн. лет назад. В это время обдукция офиолитов закончилась и началась субдукция с переправлением континентальной коры и транспортировкой материала к поверхности.

Мурзинский разлом и Тюменско-Чудиновский разломы – проходят параллельно Серовско-Маукскому разлому в 50 и в 100-150 км восточнее. Мурзинский разлом отделяет еще одну пластину с кислыми интрузиями. Тюменско-Чудиновский разлом перекрыт мезозойским чехлом Западно-Сибирской платформы.

Внедрение кислых расплавов по этим разломам происходило в поздней перми, до 252 млн. лет назад. В это время на Восточно-Европейской платформе существовало пермское море, а на Урале происходила континентальная субдукция.

Все три вышеперечисленных разломов имеют тождественный угол падения в сторону Восточно-Европейской платформы, что отвечает продолжению зоны Бенъофа от глубинного слеба.

Статья является кратким сообщением по авторской глубинной модели Среднего Урала. В дальнейшем автор планирует построение более детальных разрезов Урала с их геодинамическим и минерагеническим анализом.

Библиографический список.

1. *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.
2. *ГГК РФ* лист О-40 масштаба 1:1000000, ВСЕГЕИ, 2015, ЕЦМ.
3. *ГГК РФ* лист О-41 масштаба 1:1000000, ВСЕГЕИ, 2011, ЕЦМ.
4. *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). Уральская серия – Лист О-41 (Екатеринбург). Объяснительная записка. – СПб.: Изд-во СПб картфабрики ВСЕГЕИ, 200_. 349 с.
5. *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.
6. *Попов А.Г.* Алмазоносность и тектоника Урала, краткое обобщение Государственного геологического картирования масштаба 1:1000000 // Геология и полезные ископаемые Западного Урала. Пермь: Пермский ун-т. Вып. 3, 2020. С.18-26.
7. *Рыльков С.А., Рыбалка А.В., Иванов К.С.* Глубинное строение и металлогения Урала // Литосфера. №1. Екатеринбург, 2013. С.3-16.
8. <https://vsegei.ru/> - ГГК РФ.
9. *Сначёв А.В., Шулькин Е.П.* Геологическое строение и золотоносность углеродистых отложений района горы тётчая (Южный Урал) // Вестник Пермского университета. Геология. 2018. Т. 17. № 1. С. 52-60.

А.Ш. Хусаинова¹, Л.А. Божук², А.В. Путилова³
ПГНИУ, ¹alfiya061094@gmail.com,
²bozhukl@mail.ru, ³nastasya_putilova@mail.ru

ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ЗОЛОТА В ЗОНЕ ГИПЕРГЕНЕЗА МЕСТОРОЖДЕНИЯ КОПТО (СЕВЕРО-ВОСТОЧНАЯ ТУВА)

В окисленных рудах месторождения Копто активно проявлены процессы перераспределения и преобразования золота. Гипергенное золото представлено кристаллами и их сростками, а также дендритами неправильных, округлых и чешуйчатых форм. Сочетание скульптур роста и растворения, присутствие тонкого субмикроскопического золота разных генераций указывает на нестабильные физико-химические условия зоны гипергенеза и преобладание химических и механических процессов укрупнения и разрушения золота.

Ключевые слова: гипергенез, эволюция золота, физико-химические процессы

A. Sh. Khusainova, L.A. Bozhuk, A.V. Putilova

Perm State University, ¹alfiya061094@gmail.com,
²bozhukl@mail.ru, ³nastasya_putilova@mail.ru

GOLD TRANSFORMATION IN SUPERGENE ZONE OF KOPTO DEPOSIT (NORTH-EASTERN TYVA)

The gold processes of redistribution and transformation are actively showed in the oxidized ores of the Kopto deposit. Supergene gold is represented by crystals and their intergrowths, and dendrites of irregular, rounded and scaly shapes. The combination of growth and dissolution sculptures, the presence of thin submicroscopic gold of different generations indicates the unstable physicochemical conditions of the supergene zone and the predominance of chemical and mechanical processes of the aggregation and destruction of gold.

Key words: supergene zone, the evolution of gold, physical-chemical processes

Введение. Поведение Au и Ag в гипергенных условиях достаточно широко освещено в мировой и отечественной литературе [1, 3, 4, 5, 13]. Однако до сих пор остаются дискуссионными вопросы о масштабах перераспределения и образования «нового» Au. Одним из путей решения поставленных проблем является изучение типоморфных характеристик золота и минеральных парагенезисов и их сравнение с первичными рудами, а также воссоздание физико-химической модели поведения Au и Ag и условий формирования рудных концентраций.

Цель работы заключается в определении основных минералогическо-геохимических характеристик, условий миграции и концентрирования золота в зоне гипергенеза золоторудного месторождения Копто.

Фактический материал получен в ходе полевых работ в 2019 г. и отобран из обнажений сильно окисленных первичных руд, объемом более 10 кг. Пробы обогащены с помощью лотка.

Методика исследования.

Изучение проб осуществлено в Лаборатории осадочных полезных ископаемых кафедры поисков и разведки полезных ископаемых (ПГНИУ). Полученный концентрат разделялся на магнитную, электромагнитную и немагнитную фракции. Последнюю просеивали на наборе сит с выделением самородных частиц Au под бинокулярным микроскопом Nikon SMZ-745. Золото взвешивали с помощью весов Radwag WAS-220/C/2 с точностью до 0,0001 г. При описании золота автор опирался на такие труды, как [3, 4].

Аналитические исследования проведены в Центре коллективного пользования многоэлементных и изотопных исследований Института геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН (ИГМ СО РАН, Новосибирск). Изучение морфологии золота осуществлялось с помощью сканирующего электронного микроскопа TESCAN MIRA 3LMU (Tescan, Чехия) с энергетическим спектрометром «OXFORD» (Oxford Instruments, Великобритания) в режимах вторичных (SE) и обратно-рассеянных электронов (BSE) при различных увеличениях (при ускоряющем напряжении электронного пучка 20 кВ) (ИГМ СО РАН, Новосибирск). Содержание Au и Ag в исходных пробах (навеска 5-10 г.) определялось методом атомно-абсорбционной спектрометрии (ААС) с использованием спектрометра 3030 В (фирма Perkin-Elmer) и фотометра Solar M6 (фирма Thermo Electron) (аналитик Ильина В.Н.).

Объект исследования.

Месторождение Копто (Северо-Восточная Тува) расположено в контактовой части кварцевых диоритов Копто-Байсютского габбро-диорит-плагиогранитного массива раннетаннуольского комплекса (O1tn) в осадочно-вулканогенных породах туматтайгинской свиты (R-Є1tm) [2]. Месторождение относится к золото-сульфидно-кварцевому оруденению штокверкового типа и находится в зоне дробления и интенсивной трещиноватости в скарнах. По составу скарны гранатовые, пироксеновые и пироксен-гранатовые с гематитом и магнетитом.

Гранулометрический состав рудного золота варьирует незначительно: количественно преобладают фракции <0,1 мм (58,37 %), 0,25-0,1 мм (35,58 %), и, в меньшей степени, 0,5-0,25 мм (4,99 %), 1,0-0,5 мм (0,87%) и >1 мм (0,19 %). Золото образует мелкие и тонкие (0,006–5 мм) выделения комковидной, комковидно-ветвистой, трещинно-прожилковой, интерстициальной, дендритовидной, удлинённой, кристаллической и смешанной формы Средняя пробность золота месторождения Копто составляет 802 ‰ при вариациях от 524 до 969 ‰. В целом, в рудах количественно преобладает среднепробное (40 %) и низкопробное золото (32,3 %), в меньшей степени, электрум (12,3 %), менее распространено весьма высокопробное (10,8 %) и высокопробное золото (4,6 %). Согласно [2], рудоотложение шло с накоплением Ag, о чём свидетельствуют эволюция состава самородного золота (золото → электрум) и появление позднего акантита-II. Руды месторождения интенсивно окислены до глубины 80-90 м. В коре выветривания развиты гипергенные минералы Ag и Au: иодаргирит, гипергенное серебро, акантит-II, ютенбогардит, петровскит.

Результаты.

По данным ААС среднее содержание Au и Ag в окисленных рудах составляет 8,4 и 18,0 г/т, соответственно. Самородное золото распределяется неравномерно (рис. 1): преобладает мелкое, тонкодисперсное золото класса <0,1 мм (84,95 %), значительно меньше содержание класса 0,25-0,1 мм (10,41 %), доля остальных классов не существенная, для класса 0,5-0,25мм (4,52 %) и >0,5 мм (0,12 %).

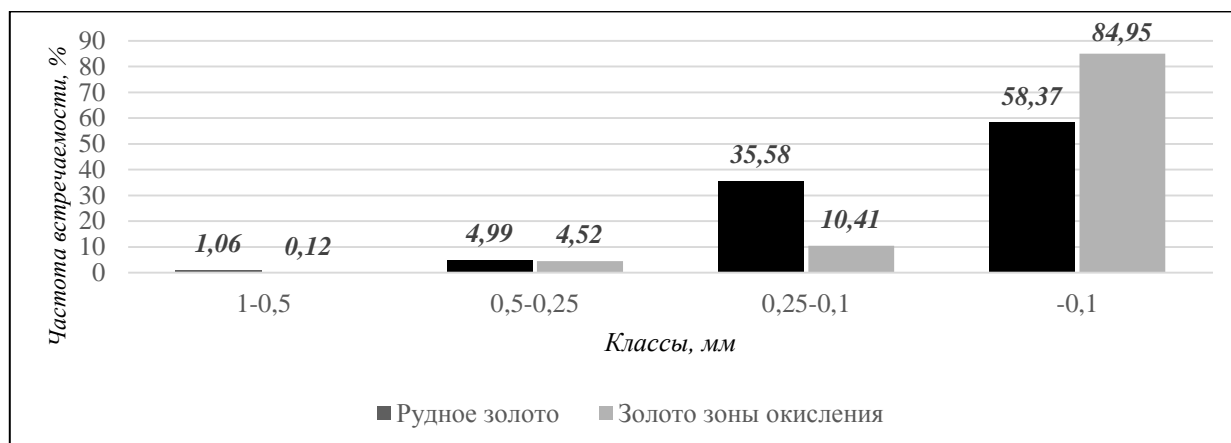


Рис. 1. Соотношение крупности самородного золота в эндогенных рудах и в зоне окисления.

Частицы Au ярко-желтого, золотисто-желтого цвета. По морфологии встречаются золотины комковидного, трещинно-прожилкового, интерстициального, дендридовидного, кристаллического, смешанного и «агрегатного» облика. Золото находится в сростании с гидроксидами железа и кварца, а также ассоциирует с петровскаитом и ютенбогаардитом.

Поверхность золотинов сильно преобразована (рис. 2). Среди скульптур роста можно отметить скопления нано- и микрочастиц Au неправильных, округлых и чешуйчатых форм, которые формируют «губчатые» выделения (рис. 2а) как на поверхности гипогенного (остаточного) золота, так и в ассоциации с гидроксидами железа. Пробность «нового» Au варьирует 987 до 1000 ‰.

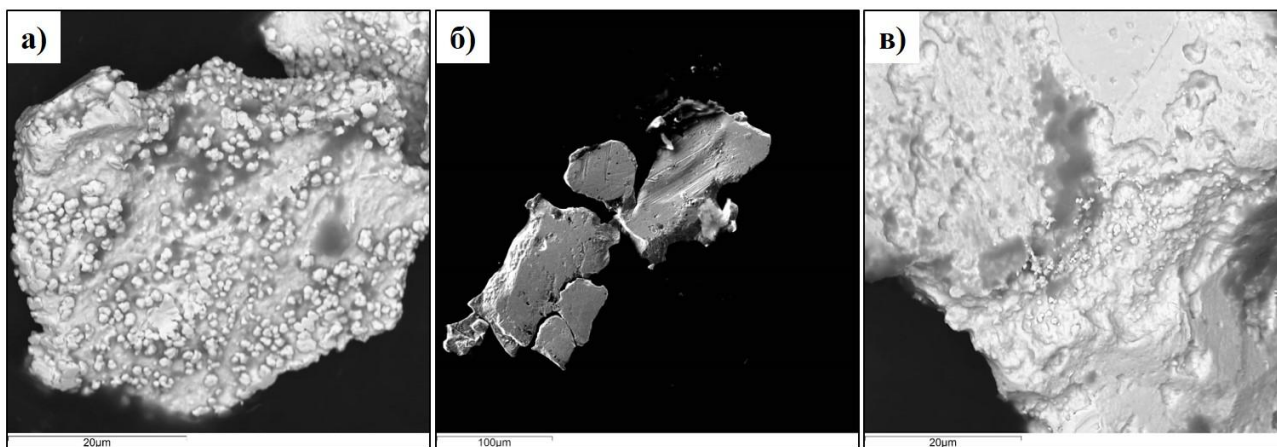


Рис. 2. Скульптуры поверхностей золота: а) скульптуры роста, представленные в виде наростов Au округлых форм, формирующие «губчатое» Au на поверхности остаточного золота; б) «агрегатное» золото, состоящие из уплощенных изометричных и удлиненных частиц; в) скульптуры растворения – микроямчатый (изъеденный) рельеф поверхности золота.

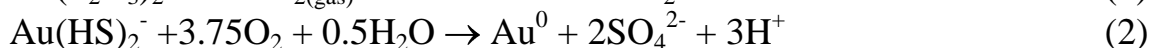
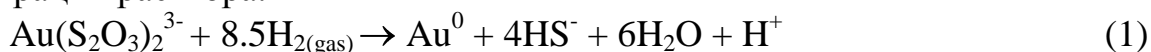
Скульптуры растворения представлены в виде микроямчатого, натечного рельефа (рис. 2в), образующегося при взаимодействии поровых растворов с поверхностным слоем золота.

Обсуждение.

Таким образом, в окисленных рудах месторождения Копто активно проявлены процессы перераспределения и преобразования золота. На это указывают описанные микрокристалломорфологические особенности золота, его состав и минеральные парагенезисы. Новообразованное золото представлено кристаллами, их сростками и дендритами неправильных, округлых и чешуйчатых форм. Сочетание скульптур роста, растворения и присутствие тонкого субмикроскопического золота разных генераций указывает на нестабильные физико-химические условия зоны гипергенеза. Значительное количество гипергенного золота было образовано, вероятно, хемогенным путем за счет разложения сульфидов в зоне окисления и освобождения невидимого золота. Присутствие золотин «агрегатного» типа (рис. 2б) свидетельствуют, что не малую роль играют процессы слипания (укрупнения) частиц.

Помимо этого, в окисленных рудах отмечена тенденция увеличения тонкого класса золота <0,1 мм в 1,5 раза, и уменьшение в 3,4 раза класса 0,25-0,1 мм (см. рис. 1).

Образование халькогенидов Au и Ag в зоне гипергенеза свидетельствует о преобладании и распространении сульфитных (SO_3^{2-}) и тиосульфатных комплексов ($\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$) [6, 7, 11]. Тиосульфатные комплексы разрушаются с образованием сульфат- или гидросульфид-ионов и самородного золота в зависимости от Eh-pH условий среды (1, 2). Это приводит к укрупнению золотин или образованию агрегатов в зависимости от наличия затравок и диффузионного режима фильтрации раствора.



Дестабилизация золотоносных комплексов происходит посредством:

- 1) деятельности бактерий, которые используют серу, железо и др. элементы в качестве источника энергии (восстановительная биоминерализация золота) [8, 10, 13];
- 2) присутствием таких восстановителей как органическое вещество и ионы Fe^{2+} ;
- 3) при снижении pH, когда золото восстанавливается с осаждением на уже существующей поверхности самородных частиц [9, 12].

Заключение.

Таким образом, при формировании зоны окисления месторождения Копто на фоне значительных вариаций физико-химических условий протекали процессы растворения и переотложения золота первичных эндогенных руд с образованием разнообразных морфологических разновидностей гипергенного золота.

Библиографический список

1. Калинин Ю.А., Росляков Н.А., Прудников С.Г. Золотоносные коры выветривания юга Сибири. Новосибирск: «Гео», 2006. 339 с.
2. Кузугет Р.В., Анкушева Н.Н., Ооржак Ш.Н., Бутанаев Ю.В. Состав золота и условия образования руд гидротермального месторождения Копто (Северо-восточная Тува) // Минералогия, 2018, 4 (3), с. 61-69.
3. Николаева Л.А., Гаврилов А.М., Некрасова А.Н., Яблокова С.В., Шатилова Л.В. Самородное золото рудных и россыпных месторождений России: атлас. Москва: ЦНИГРИ, 2015. 200 с.
4. Петровская Н.В. Самородное золото: общие характеристики, типоморфизм, вопросы генезиса. Наука, 1973. 349 с.
5. Росляков Н.А. Геохимия золота в зоне гипергенеза. Новосибирск: Наука, 1981. 237 с.
6. Харламова В.Ю. Высокоустойчивые комплексы золота (I) с серосодержащими лигандами в водном растворе. Авторефер. диссер. ... канд. хим. наук. ИНХ СО РАН, 2018, 22 с.
7. Craw D., Lilly K. Gold nugget morphology and geochemical environments of nugget formation, southern New Zealand // Ore Geology Reviews, 2016, V. 79, pp. 301-315.
8. Etschmann B., Brugger J., Fairbrother L., Grosse C., Nies D.H., Martinez-Criado G., Reith F. Applying the Midas touch: Differing toxicity of mobile gold and platinum complexes drives biomineralization in the bacterium *Cupriavidus metallidurans* // Chemical Geology, 2016, 438, pp. 103-111.
9. Hyland M.M., Bancroft G.M. An XPS study of gold deposition at low temperatures on sulphide minerals: reducing agents // Geochim. Cosmochim. Acta, 1989, 53, pp. 367-372.
10. Lengke M.F., Southam G. The effect of thiosulfate-oxidizing bacteria on the stability of the gold-thiosulfate complex // Geochim. Cosmochim. Acta, 2005, 69, pp. 3759-3772.
11. Liua X., Jianga T., Xua B., Zhang Y., Lia Q., Yanga Y., He Y. Thiosulphate leaching of gold in the $\text{Cu-NH}_3\text{-S}_2\text{O}_3^{2-}\text{-H}_2\text{O}$ system: An updated thermodynamic analysis using predominance area and species distribution diagrams // Minerals Engineering, 2020, V. 151, 12 pp.
12. Mycroft J.R., Bancroft G.M., McIntyre N.S., Lorimer J.W. Spontaneous deposition of gold on pyrite from solutions containing Au(III) and Au(I) chlorides. 1. A surface study // Geochim. Cosmochim. Acta, 1995, 59, pp. 3351-3365.
13. Shuster J., Reith F., Cornelis G., Parsons J.E., Parsons J.M., Southam G. Secondary gold structures: Relics of past biogeochemical transformations and implications for colloidal gold dispersion in subtropical environments // Chemical Geology, 2017, V. 450, pp. 154-164.
14. Наумов В.А., Наумова О.Б. Концепция направленного формирования россыпных месторождений на примере техногенных россыпей золота // Вестник Пермского университета. Геология. 2011. № 3. С. 55-59.
15. Хусаинова А.Ш., Наумов В.А., Наумова О.Б. Дифференциация частиц золота из продуктов гравитационного обогащения руд Тарданского месторождения // Вестник Пермского университета. Геология. 2019. Т. 18. № 3. С. 276-285.

АМПЛИТУДНАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ И СООТНОШЕНИЯ ГЕОХИМИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ ГЛАВНЫХ КОМПОНЕНТОВ РУД ДЖУСИНСКОГО КОЛЧЕДАННО-ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Оценены изменчивость и связи главных (Cu, Zn, Pb) и попутных (Au, Ag) компонентов руд. Значения коэффициентов вариации, как правило, не превышают 100 %, что подтверждает справедливость отнесения месторождения ко 2-й группе сложности для целей разведки. Отчетливо проявляется парагенетическая ассоциация элементов Zn–Pb–Ag, имеющих между собой тесную или очень тесную положительную связь в медно-колчеданных, медно-цинковых рудах. Сера с элементами данной ассоциации имеет тесную отрицательную связь.

Ключевые слова: колчеданно-полиметаллические руды, Джусинское месторождение, Оренбургская область, изменчивость и связи главных компонентов руд.

G. V. Lebedev, K. V. Fedoseev
PGNIU, Perm, E-mail: poisk@psu.ru

AMPLITUDE VARIABILITY AND RATIOS OF GEOCHEMICAL FIELDS OF THE MAIN ORE COMPONENTS OF THE DZHUSINSKY PYRITE-POLYMETALLIC DEPOSIT

The variability and relationships of the main (Cu, Zn, Pb) and associated (Au, Ag) ore components are estimated. The values of the coefficients of variation, as a rule, do not exceed 100 %, which confirms the validity of assigning the field to the 2nd group of complexity for exploration purposes. The paragenetic association of the elements Zn–Pb–Ag, which have a close or very close positive relationship with each other, is clearly manifested in copper-pyrite, copper-zinc ores. Sulfur with elements of this association has a close negative relationship.

Keywords: pyrite-polymetallic ores, Dzhusinskoye deposit, Orenburg region, variability and relationships of the main ore components.

Джусинское колчеданно-полиметаллическое месторождение расположено на территории Адамовского района Оренбургской области, в 70 км к северо-востоку от г. Орска.

По данным геологической службы ООО «Геотехцентр» в тектоническом отношении месторождение приурочено к Джусинской брахиантиклинали, осложняющей центральную часть Теренсайской антиклинали, располагающейся в пределах Магнитогорского мегасинклинория.

Рудное поле месторождения сложено андезито-дацитовыми породами верхнекарамалыташской подсвиты среднего девона мощностью около 400 м, смятыми в брахискладки, осложненные многочисленными разрывными нарушениями. Подсвита подразделяется на три толщи: нижнюю, среднюю и верхнюю.

Верхняя и нижняя толщи представлены дацитами и их туфами с редкими прослоями риолитов, андезитов и базальтов. Средняя толща сложена базальтами, андезитами и их туфами, вулканическими брекчиями, единичными пластами дацитов и туффитов. Среди вулканических пород широко развиты субвулканические и гипабиссальные тела дацитов, риолитов, трахидацитов, долеритов, габбродолеритов, габбродиоритов, гранодиоритов.

Вмещающими рудные тела породами являются образования нижней толщи, превращенные в кварцево-серицитовые сланцы и кварциты. На месторождении проявились два этапа гидротермального процесса: гидротермально-метасоматический и собственно рудный.

Всего на месторождении выявлено 16 рудных тел, образующих рудную зону северо-западного ($310-320^\circ$) простирания и крутого ($65-90^\circ$) падения. Длина зоны 1,5 км, максимальная ширина 240 м. По падению рудные тела прослежены до глубины 650 м. Они имеют сложную линзо- и жиллообразную форму, осложнены многочисленными раздувами и пережимами. Внутри рудных тел встречаются согласные дайками габбродолеритов. Размер рудных тел по падению изменяется в пределах 100–680 м, по простиранию – 100–270 м и 2,5–75 м по простиранию – по мощности. Наиболее крупными (первая по размеру группа) являются субпараллельно расположенные рудные тела № 1, 2, 3 и 7, содержащие 83,1 % балансовых запасов руд и 89 % запасов меди. Ко второй по размерам группе отнесены рудные тела № 6, 9, 11, 13, сложенные балансовыми медно-цинковыми, а также колчеданными рудами. Остальные рудные тела (№№ 4, 5, 8, 10, 12, 14, 15, 16) относятся к числу мелких (третья группа).

Рудные залежи сложены в основном сплошными и полосчатыми (более 90 %) разностями; доля вкрапленных руд составляет всего лишь 10 %. Руды практически все первичные сульфидные. По соотношениям главных компонентов (Cu, Zn, Pb и S) выделяются следующие сорта руд: 1) серно-колчеданный, 2) медно-колчеданный, 3) медно-цинковый. Выделенные сорта соответствуют природным типам руд, минеральные ассоциации которых формировались при последовательном понижении температуры гидротермальных флюидов: 1) пиритовый, 2) халькопирит-пиритовый, 3) халькопирит-сфалерит-галенит-пиритовый.

Разведка Джусинского месторождения была проведена в 1959–62 гг. наклонными скважинами колонкового бурения. Расстояние между разведочными линиями, расположенным в центральной части объекта, составляло 50 м, а на флангах – 100 м. Расстояние между скважинами на линиях было принято равным 60–125 м. Выходы рудных тел под наносы прослеживались неглубокими скважинами через 5–30 м.

Основным способом опробования являлось секционное керновое. Секции выделялись с учетом литолого-петрографических разновидностей пород и руд, выхода и диаметра керна. В пробу отбирался материал одной половинки керна, распиленного вдоль оси; вторая сохранялась как дубликат. Интервалы опробования варьировали от 0,1 до 5,8 м, их средняя длина составила 1,7 м. В рядовых пробах определялись содержания главных (меди, серы, цинка и свинца), а также попутных полезных (золота, серебра) компонентов.

В 2003–2014 гг. велась открытая отработка месторождения (до горизонта +20 м); в настоящее время оно разрабатывается подземным способом.

В качестве исходных материалов для оценки амплитудной изменчивости и связей главных компонентов руд Джусинского месторождения были использованы результаты кернового опробования скважин, любезно предоставленные геологами ООО «Геотехцентр».

Оценка амплитудной изменчивости производилась статистическими методами путем расчета статистик одномерных распределений (средних значений, дисперсий, коэффициентов асимметрии, эксцессов, коэффициентов вариации и др.), а оценка связей между компонентами – путем расчета коэффициентов корреляции. Для расчетов были сформированы четыре выборки: три – по типам руд и одна – по месторождению в целом.

Результаты расчетов статистик одномерных распределений приведены в таблице 1. Произведем их сравнительный анализ.

Таблица 1. Статистики одномерных распределений компонентов

Компоненты	Cu	Zn	Pb	S	Au	Ag
<i>Серноколчеданные руды</i>						
Среднее*	0,28	0,22	0,17	43,84	1,13	8,87
Эксцесс	1,27	-1,23	3,46	2,29	3,40	13,53
Асимметрия	1,13	0,30	2,15	-1,44	1,48	3,82
Вариация	54	59	147	10	39	133
Число проб	83					
<i>Медноколчеданные руды</i>						
Среднее*	2,81	0,54	0,23	43,85	1,28	14,42
Эксцесс	-0,76	-0,41	8,07	0,60	3,95	21,79
Асимметрия	-0,10	-0,51	2,81	-0,57	0,91	3,36
Вариация	33	46	122	7	22	54
Число проб	142					
<i>Медно-цинковые руды</i>						
Среднее*	2,91	3,32	1,23	37,94	1,48	46,89
Эксцесс	-0,12	-0,48	20,74	0,58	1,44	2,20
Асимметрия	0,66	0,32	3,58	-0,14	-0,48	1,08
Вариация	48	40	76	11	20	47
Число проб	166					
<i>Месторождение в целом</i>						
Среднее*	2,31	1,65	0,64	41,34	1,33	27,03
Эксцесс	-0,46	-0,15	22,14	0,16	1,27	1,99
Асимметрия	0,29	1,01	3,46	-0,50	0,33	1,37
Вариация	65	102	127	12	27	87
Число проб	391					

*Содержания Cu, Zn, Pb, S указаны в масс. %; Au, Ag – в г/т

Медь. Наиболее высоким средним содержанием характеризуются медно-цинковые руды (2,91 масс.%), несколько ниже концентрация компонента в медноколчеданных рудах (2,81 масс.%) и очень низкая – в серноколчеданных

(0,28 масс.%). Среднее содержание меди по месторождению в целом составляет 2,31 масс.%.

Кривые распределения частот встречаемости в разных типах руд отличаются друг от друга: эксцесс может быть как положительным (1,27, серноколчеданные руды), так и отрицательным (-0,76, медноколчеданные и -0,12, медно-цинковые руды); коэффициент асимметрии (асимметрия) в основном положительный (1,13, серноколчеданные, и 0,66, медно-цинковые руды) либо слабо отрицательный (-0,10, медно-колчеданные руды). В целом же по выборке, включающей все типы руд, распределение частот имеет отрицательный эксцесс (-0,46) и невысокую (0,29) положительную асимметрию, т.е. кривая распределения имеет уплощенной, левоасимметричной вид.

Коэффициент вариации (вариация) меди изменяется в довольно узких пределах: 54, 33, 48 % (соответственно серноколчеданные, медноколчеданные и медно-цинковые руды), составляя по месторождению в целом 65 %. Установленные значения коэффициентов вариации свидетельствуют о неравномерном характере изменчивости меди [1] и согласно «Методическим рекомендациям..., 2007» [2] типичны для месторождений 2-й группы сложности для целей разведки.

Цинк. Для компонента характерна та же тенденция изменения средних содержаний по типам руд, что и для меди. Наиболее высокое содержание имеют медно-цинковые руды (3,32 масс.%), далее – медноколчеданные (0,54 масс.%) и серноколчеданные руды (0,22 масс.%). Среднее содержание по месторождению в целом составляет 1,65 масс.%.

Все кривые распределения частот встречаемости компонента имеют отрицательный эксцесс: -0,48 (медно-цинковые руды), -0,41 (медно-колчеданные руды), -1,23 (серноколчеданные руды) и -0,15 (по месторождению в целом). Коэффициент асимметрии может быть как положительным (0,32, медно-цинковые руды; 0,30, серноколчеданные руды), так и отрицательным (-0,51, медноколчеданные руды). Значение коэффициента асимметрии по месторождению в целом равно 1,01. Иными словами, все кривые распределения имеют плосковершинный характер с преобладанием левой асимметрии.

Коэффициенты вариации цинка для отдельных типов руд имеют довольно близкие значения: 40, 46, 59 % (соответственно медно-цинковые, медноколчеданные и серноколчеданные руды), составляя по месторождению в целом 102 %. Приведенные значения коэффициентов вариации компонента в основном соответствуют неравномерному характеру распределения компонента и типичны для месторождений 2-й группы сложности.

Свинец. Наиболее высоким средним содержанием характеризуются медно-цинковые руды (1,23 масс.%), существенно ниже средние содержания компонента в медноколчеданных и серноколчеданных рудах: 0,23 и 0,17 масс.%, соответственно. Среднее значение концентрации свинца по месторождению в целом равно 0,64 масс.%.

Кривые распределения частот встречаемости компонента имеют высокий положительный эксцесс: 20,74 (медно-цинковые руды), 8,07 (медно-колчеданные

руды) и 3,46 (серноколчеданные руды). Высоким эксцессом свинца характеризуется выборка проб по месторождению в целом (22,14). Коэффициенты асимметрии для всех типов руд положительные: 3,58 (медно-цинковые руды, 2,81 (медноколчеданные руды) и 2,15 (серноколчеданные руды). По месторождению в целом значение коэффициента асимметрии равно 3,46. Приведенные значения свидетельствуют о том, что кривые распределения частот содержаний свинца имеют островершинный характер и четко выраженную правую асимметрию.

Коэффициенты вариации свинца имеют тенденцию увеличения от медно-цинковых к серноколчеданным рудам: составляя 76, 122 и 147 % (соответственно медно-цинковые, медноколчеданные и серноколчеданные руды). Коэффициент вариации компонента по месторождению в целом равен 127 %. Отсюда следует, что свинец в медно-цинковых рудах имеет неравномерный характер изменчивости (2-я группа сложности месторождений), а в медноколчеданных, серноколчеданных рудах и по месторождению в целом – весьма неравномерный, присущий месторождениям 3-й группы сложности.

Сера. Средние содержания серы отличаются очень высокими значениями: 43,84, 43,85, 37,94 и 41,34 масс.% (соответственно серноколчеданные, медноколчеданные, медно-цинковые руды и по месторождению в целом). Столь высокие концентрации серы обусловлены тем, что минералами-носителями всех главных компонентов руд являются сульфиды. Более высокие концентрации серы в медноколчеданных и серноколчеданных рудах, по сравнению с медно-цинковыми, очевидно, связано с преобладанием в них «пиритной» формы нахождения серы. В медно-цинковых же рудах существенная часть серы связана с минералами-сульфидами (халькопиритом, сфалеритом, галенитом), в которых концентрация серы ниже, чем в пирите.

Кривые распределения частот встречаемости для всех типов руд и по месторождению в целом характеризуются положительным эксцессом (2,29, 0,60, 0,58, 0,16) и отрицательной асимметрией (-1,44, -0,57, -0,14, -0,50), соответственно серноколчеданные, медноколчеданные, медно-цинковые руды и по месторождению в целом. Приведенные значения статистик свидетельствуют о том, что кривые распределения частот серы приближаются к симметричным, что характерно для компонентов, имеющих высокие концентрации в рудах.

Коэффициенты вариации содержаний серы очень низкие: 10, 7, 11, 12 (соответственно серноколчеданные, медноколчеданные, медно-цинковые руды и по месторождению в целом), т.е. распределение серы на месторождении весьма равномерное, что характерно для месторождений 1-й группы сложности.

Золото. Вследствие низких содержаний золото на месторождении рассматривается лишь как попутный полезный компонент. Его повышенные концентрации присущи медно-цинковым рудам (1,48 г/т), несколько ниже (1,28 г/т) содержание золота в медноколчеданных рудах, и наиболее низкое (1,28 г/т) – в серноколчеданных. Среднее содержание по месторождению составляет 1,33 г/т.

Распределение частот встречаемости золота характеризуется положительным эксцессом: 3,40, 3,95, 1,44 и 1,27 (соответственно серноколчеданные, медно-колчеданные, медно-цинковые руды и по месторождению в целом) и в основном положительной асимметрией: 1,48, 0,91, -0,48 и 0,33 (та же последовательность значений). Такой характер распределения частот (положительные эксцессы и коэффициенты асимметрии) типичен для компонентов, находящихся в состоянии рассеяния.

Коэффициенты вариации компонента низкие: 39, 22, 20 и 27 % (последовательность та же). Они отражают неравномерный характер изменчивости золота, типичный для месторождений 1-й группы сложности.

Серебро. Наиболее высокое среднее содержание компонента (46,89 г/т) характерно для медно-цинковых руд, существенно ниже значение параметра (14,42 г/т) в медноколчеданных рудах и очень низкое (8,87 г/т) – в серноколчеданных. Среднее содержание серебра по месторождению в целом составляет 27,03 г/т. По сравнению с чисто серебряными месторождениями, где концентрации серебра составляют от 45–50 до 200 г/т, эти содержания являются непромышленными. По этой причине на Джусинском месторождении серебро может рассматриваться лишь как попутная полезная примесь.

Распределение частот встречаемости серебра характеризуется положительными значениями эксцессов: 13,53, 21,79, 2,20 и 1,99 (соответственно серноколчеданные, медноколчеданные, медно-цинковые руды и по месторождению в целом) и в основном положительной асимметрией: 3,82, 3,36, 1,08 и 1,37 (та же последовательность перечисления значений). Эти значения статистических параметров соответствуют кривым распределения частот, имеющих островершинный характер и левую асимметрию.

Наиболее высокое значение коэффициента вариации (133 %), соответствующее месторождениям 3-й группы сложности, установлено для серебра в серноколчеданных рудах, где содержания его крайне низкие, не имеющие промышленного значения. Вариация содержаний серебра в медноколчеданных рудах (54 %), в медно-цинковых рудах (47 %) и по месторождению в целом (87 %) типична для месторождений 2-й группы сложности.

Оценка природных связей компонентов руд производилась путем расчета коэффициентов парной корреляции. Результаты расчетов представлены в матричном виде в таблице 2. Согласно сформулированным В.Ф. Мягковым [3] принципам парагенетического анализа руд коэффициенты парной корреляции характеризуют соотношения геохимических полей компонентов руд. По этой причине они несут генетическую информацию. Проанализируем эти соотношения между элементами, используя общепринятую группировку тесноты связи по значениям модулей коэффициентов корреляции (r): 0,00–0,25 – связь отсутствует; 0,25–0,50 – слабая связь; 0,50–0,75 – тесная связь; 0,75–1,00 – очень тесная. Попытаемся также дать этим параметрам генетическую интерпретацию.

Медь. Связь меди с другими компонентами либо отсутствует, либо слабая положительная. Тесная положительная связь ($r=0,67$) установлена лишь для медноколчеданных руд.

Цинк. Для цинка характерно отсутствие связи с другими компонентами, за исключением слабой положительной со свинцом ($r=0,29$), в медноколчеданных рудах. Тесная положительная связь с медью ($r=0,67$), свинцом ($r=0,55$) и серебром ($r=0,52$) установлена для медноколчеданных руд. Очень тесная положительная связь с серебром ($r=0,75$), близкая к тесной ($r=0,49$) со свинцом и тесная отрицательная связь с серой ($r=-0,56$) выявлена в медно-цинковых рудах.

Свинец. Для свинца характерна очень тесная положительная связь с серебром ($r=0,76$) и слабая – с цинком ($r=0,29$) в серноколчеданных рудах. Тесная положительная связь с серебром ($r=0,64$) и цинком ($r=0,55$), а также слабая положительная связь с медью ($r=0,38$) установлена для медноколчеданных руд. Тесная положительная связь с серебром ($r=0,69$), близкая к тесной – с цинком ($r=0,49$) и тесная отрицательная с серой ($r=-0,53$) выявлена в медно-цинковых рудах.

Таблица 2. Матрицы коэффициентов корреляции

Серноколчеданные руды							Медноколчеданные руды						
	Cu	Zn	Pb	S	Au	Ag		Cu	Zn	Pb	S	Au	Ag
Cu	1						Cu	1					
Zn	0,25	1					Zn	0,67	1				
Pb	0,09	0,29	1				Pb	0,38	0,55	1			
S	-0,16	0,01	0,19	1			S	-0,15	-0,15	-0,10	1		
Au	0,15	-0,20	-0,17	0,29	1		Au	0,01	-0,08	0,00	-0,15	1	
Ag	0,27	0,20	0,76	0,10	-0,10	1	Ag	0,41	0,52	0,64	-0,29	0,22	1
Медно-цинковые руды							Месторождение в целом						
	Cu	Zn	Pb	S	Au	Ag		Cu	Zn	Pb	S	Au	Ag
Cu	1,00						Cu	1,00					
Zn	0,10	1,00					Zn	0,38	1,00				
Pb	0,00	0,49	1,00				Pb	0,26	0,73	1,00			
S	0,08	-0,56	-0,53	1,00			S	-0,20	-0,68	-0,59	1,00		
Au	0,23	0,26	0,25	-0,25	1,00		Au	0,30	0,38	0,31	-0,25	1,00	
Ag	0,06	0,75	0,69	-0,70	0,33	1,00	Ag	0,36	0,87	0,82	-0,69	0,39	1,00

Сера. Связи серы с другими элементами достаточно специфичны. В серноколчеданных рудах она отсутствует со всеми компонентами, за исключением слабой положительной с золотом ($r=0,29$). В медноколчеданных рудах зафиксирована лишь слабая отрицательная связь с серебром ($r=-0,29$). В медно-цинковых рудах преобладают отрицательные связи компонентов с серой: тесная с серебром ($r=-0,70$), цинком ($r=-0,56$) и свинцом ($r=-0,53$) и очень слабая с золотом ($r=-0,25$).

Золото. Установлено отсутствие связей золота с другими компонентами, за исключением слабой положительной с серой ($r=0,29$) в серноколчеданных рудах. В медноколчеданных рудах связь золота с другими компонентами отсутствует. Очень слабые положительные связи золота с цинком ($r=0,26$) и свинцом

($r=0,25$) и очень слабая отрицательная связь с серой ($r=-0,25$) установлена для медно-цинковых руд.

Серебро. Компонент имеет очень тесную положительную связь со свинцом ($r=0,76$) и слабую – с медью ($r=0,27$) в серноколчеданных рудах. Установлена тесная положительная связь серебра со свинцом ($r=0,64$) и цинком ($r=0,52$), слабая положительная с медью ($r=0,41$) и слабая отрицательная с серой ($r=-0,29$) для медноколчеданных руд. Наиболее высокие связи серебра с остальными компонентами выявлены в медно-цинковых рудах: очень тесная, тесная и слабая связи, соответственно с цинком ($r=0,75$), свинцом ($r=0,69$) и золотом ($r=0,33$), и тесная отрицательная – с серой ($r=-0,70$).

Данные, приведенные в табл. 2, свидетельствуют о том, что на месторождении отчетливо проявляется парагенетическая ассоциация элементов Zn–Pb–Ag, имеющих между собой тесную или очень тесную положительную связь в медно-колчеданных, медно-цинковых рудах. Сера с элементами данной ассоциации имеет тесную отрицательную связь. Весьма специфичными являются связи компонентов в серноколчеданных рудах: они или отсутствуют или являются слабоположительными. Исключение составляет пара Pb–Ag, характеризующаяся очень тесной положительной связью.

Генетически эти материалы могут быть проинтерпретированы следующим образом. Рудный этап на месторождении начался с серноколчеданной стадии, на которой выделилась основная часть пирита. Медь, цинк, свинец, а также золото и серебро или не отлагались, или отлагались в крайне ограниченном количестве. На это указывают крайне низкие их содержания в серноколчеданных рудах. Для медноколчеданной и колчеданно-полиметаллической стадий пиритовые руды частично служили объектом замещения. Наиболее интенсивно эти процессы проявились на последней стадии. Тесные связи серебра со свинцом, очевидно, обусловлены изоморфным вхождением первого в состав галенита. Высокая теснота связи серебра с цинком является, по-видимому, опосредованной через свинец, т.к. сфалерит и галенит создают общеизвестную парагенетическую минеральную ассоциацию.

Авторы считают, что исследование природных связей компонентов руд Джусинского месторождения следует продолжить, обратив внимание на их генетическую интерпретацию. Для этого целесообразно детально изучить структуры корреляционных полей главных компонентов.

Библиографический список

1. *Крейтер В.М.* Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых. М.: Недра, 1969. 384 с.
2. *Методические рекомендации* по применению классификации запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых. Медные руды. М.: ФГУ ГКЗ, 2007. 39 с.
3. *Мяжков В.Ф.* Геохимический метод парагенетического анализа руд. М.: Недра, 1984. 120 с.
4. *Лебедев Г.В.* Методы определения параметров систем опробования // Вестник Пермского университета. Геология. 2007. № 4. С. 76-90.
5. *Лебедев Г.В.* О Соотношениях параметров разведочной сети смежных категорий запасов // Вестник Пермского университета. Геология. 2010. № 1. С. 33-37.

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПОТЕНЦИАЛЬНО НЕФТЕГАЗОНОСНЫХ ПРОТЕРОЗОЙСКИХ ОСАДОЧНЫХ БАССЕЙНОВ ВОЛГО-УРАЛА И СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ АФРИКИ

В статье рассматриваются особенности строения, условий формирования и развития материнских пород, коллекторов и флюидоупоров протерозойских осадочных бассейнов Таудени в северо-западной Африке и Волго-Уральского в европейской части России в связи с перспективами нефтегазоносности. Приводятся соответствующие данные по протерозойскому Лено-Тунгусскому осадочному бассейну с выявленной крупной промышленной нефтегазоносностью. Сделан вывод о высоких перспективах нефтегазоносности бассейнов Таудени и Волго-Уральского и необходимости продолжения геологоразведочных работ.

Ключевые слова: осадочный бассейн, кратон, нефтегазоносность, материнские породы, коллекторы, флюидоупоры.

T.V. Karaseva, I.S. Hopta, M.B. Ballo

Perm State University, tvkaras@psu.ru

COMPARATIVE CHARACTERISTICS OF POTENTIALLY OIL-AND-GAS-BEARING PROTEROZOIC SEDIMENTARY BASINS OF THE VOLGA-URALS AND NORTHWESTERN AFRICA

The article examines the features of the structure, development of source rocks, reservoirs and seals of the Proterozoic sedimentary basins of the Taoudeni in northwestern Africa and the Volga-Ural in the European part of Russia in connection with the prospects for oil and gas potential. Corresponding data on the Proterozoic Lena-Tungus sedimentary basin with an identified large industrial oil and gas potential are presented. A conclusion was made about the significant oil and gas potential of the Taudeni and Volga-Ural basins and the need to continue geological exploration.

Key words: sedimentary basin, craton, oil and gas content, source rocks, reservoirs, seals.

Открытие нефтегазоносности протерозойских отложений значительно задержалось в связи с тем, что предполагалась низкая биопродуктивность древних пород, так как начало развития жизни на Земле связывали с кембрием, и с низкой вероятностью сохранения залежей нефти и газа в течение сотен миллионов и более миллиарда лет. Только в начале 60-х годов прошлого века академик Трофимук А.А. впервые в мире обосновал необходимость геологоразведочных работ на докембрий в пределах Сибирской платформы [6], что в дальнейшем позволило открыть крупные залежи углеводородов. В последнее время все больше геологов обращают внимание на протерозойские осадочные бассейны, что связано не только с исчерпанием ресурсов в более молодых отложениях, но и открытием и успешной разработкой залежей в

рифей-вендских отложениях Лено-Тунгусского бассейна и с недавними открытиями таких залежей в Сычуаньском бассейне Китая, Омане и других странах. В этом плане актуальной является проблема изучения потенциально нефтегазоносных малоизученных протерозойских осадочных бассейнов Таудени (Taoudeni) в Западной Африке и Волго-Уральского в европейской части России с учетом данных по Лено-Тунгусскому бассейну.

Осадочный бассейн Таудени - крупнейший бассейн в континентальной части северо-западной Африки площадью почти 2 млн км² (рис. 1). Он располагается в пределах Западно-Африканского кратона, обрамленного щитами [7]. По своей относительной тектонической стабильности бассейн Таудени отличается от соседних сложных областей, таких как цепь Мавританидов на западе, Дагомейиды на востоке [8]. Фундамент бассейна сложен в основном архейскими и ранне-среднерифейскими образованиями. Протерозойский осадочный чехол представлен позднерифейскими и вендскими (непротерозойскими) терригенными и терригенно-карбонатными породами мощностью до 3-4 и более км [1].



Рис. 1. Положение бассейна Таудени на северо-западе Африки.

В пределах бассейна выделяются в основном три впадины, из которых две наиболее крупные - Адрар на северо-востоке и более обширная Ханк на северо-западе (рис. 2)

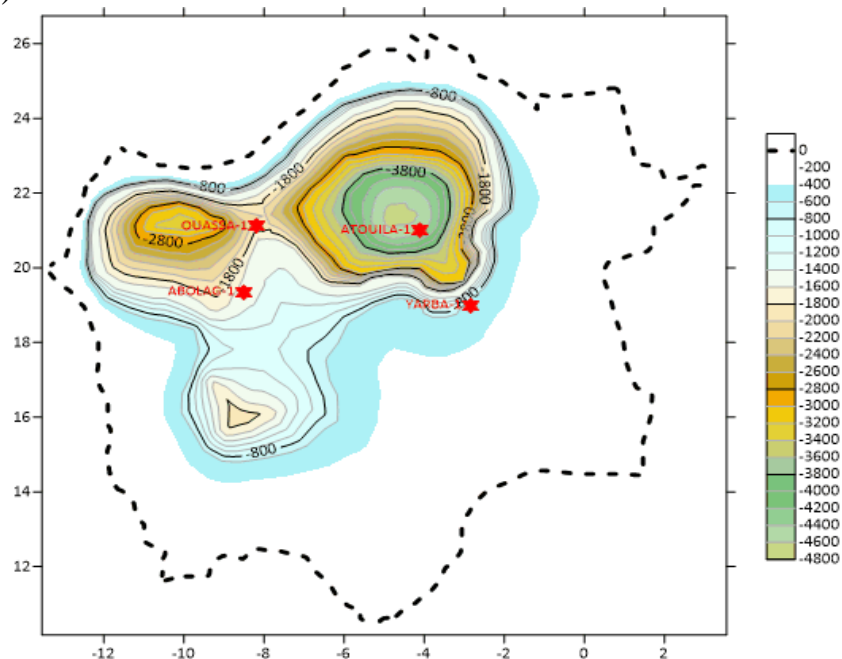


Рис. 2. Структурная карта поверхности протерозойских отложений бассейна Таудени

Бассейн относится к рифтовым внутрикратонным бассейнам, для которых характерно по Р.Г. Ибламинову [4] перекрытие заполненных осадками бассейнов вышележащими толщами более молодых осадочных пород плитного режима. На протерозойском бассейне сформировался палеозойский осадочный чехол не более 2-3 км, представленный в основном кембрийско-каменноугольными отложениями, перекрытыми меловыми и четвертичными образованиями. Нефтегазобитумопроявления в бассейне Таудени выявлены в протерозойских силикатно-карбонатных отложениях. В рифейских и вендских отложениях установлены коллекторы и флюидоупоры. Нефтегазоматеринские породы идентифицированы только в позднерифейских породах, где они находятся в благоприятном соотношении с коллекторами и флюидоупорами для миграции и аккумуляции углеводородов. Такие факты, как проведение геологоразведочных работ компаниями разных стран с разными подходами и нестабильная гражданская обстановка не способствовали целенаправленному изучению бассейна. Он оказался крайне недостаточно изучен, пробурено всего восемь скважин с небольшим выносом керна, из которых ни одна не достигла фундамента, выполнен небольшой объем сейсмических работ (всего 37000 тыс м²) в отдельных районах. Перспективы нефтегазоносности оцениваются неоднозначно [8].

В пределах Волго-Уральского нефтегазоносного бассейна в отличие от Таудени со значительными ресурсами углеводородов в палеозойском комплексе, но уже истощенными к настоящему времени во многих регионах, протерозойские осадочные отложения распространены довольно широко, но они недостаточно изучены и их нефтегазоносность также до сих пор рассматривается противоречиво. Наибольшая часть протерозойских отложений

сосредоточена в крупном Камско-Бельском авлакогене, где они образуют перикратонный осадочный бассейн, формирование которого также связано с проявлением рифтогенеза, но более раннего, чем в бассейне Таудени. Бассейн формировался на крупном Восточно-Европейском кратоне. Осадочный чехол в отличие от Таудени начинается с раннерифейского времени. Мощность осадочного протерозоя достигает 6 и более км на севере в Камской впадине (рис. 3) и до 10 км в южных районах Бельской впадины. [2].

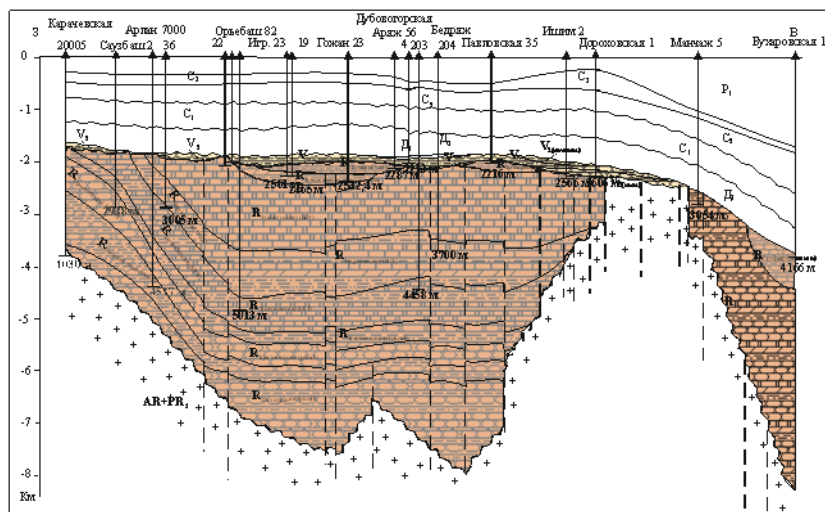


Рис. 3. Геологический профиль по линии скважин Карачевская 2005-Бухаровская 10. Камская впадина Волго-Уральского протерозойского бассейна.

Рифейские отложения представлены терригенно-карбонатными образованиями, вендские в основном сложены терригенными породами. Как и в бассейне Таудени, протерозойский бассейн перекрыт палеозойским бассейном с мощностью до 2-4 и более км в Предуральском прогибе. Нефтегазобитумоносность выявлена в основном в северной относительно изученной Камской впадине. В вендских отложениях установлены отдельные проявления и даже залежи тяжелой вязкой нефти с плотностью более $0,92 \text{ г/см}^3$, что связано со значительным размывом вендских отложений и влиянием гипергенных процессов. В калтасинской свите нижнерифейского комплекса отложений выделены нефтегазоматеринские породы значительной мощности. Коллекторы и флюидоупоры обнаружены как в рифейских, так и вендских отложениях.

Развитие Лено-Тунгусского в основном внутрикратонного протерозойского бассейна площадью 2,5 млн км связано с Сибирским кратоном [6]. Мощность рифейских отложений достигает 5-10 км. Материнские породы как и в двух выше рассмотренных бассейнах преобладают в рифейских отложениях. Открытие крупных залежей связано как с рифейскими, так и венд-кембрийскими отложениями. Наблюдается преобладание залежей литологического типа с резкой изменчивостью отложений [3]. Значительная часть залежей выявлена в зонах, удаленных от предвендской поверхности и связана с рифейскими трещиноватыми породами. Углеводороды венд-кембрийских залежей в основном мигрировали из рифейских материнских

пород. Единственным преимуществом бассейна перед рассмотренными выше является наличие венд-кембрийской сульфатно-карбонатной покрывки, которая однако влияет на формирование залежей только в верхней части протерозойского бассейна [5].

Таким образом, формирование рассмотренных трех крупных протерозойских осадочных бассейнов в различных регионах указывает на ряд общих черт становления и образования нефтегазоносности. В связи с этим малоизученные протерозойские бассейны Таудени на северо-западе Африки и Волго-Уральский в России представляют значительный интерес для открытия залежей нефти и газа. В этом плане приостановленные в последние годы работы по изучению бассейнов совершенно неоправданны. Дальнейшее развитие работ в бассейне Таудени на первом этапе может быть сопряжено с изучением геофизическими методами и бурением крупной впадины Ханк. Что касается Волго-Уральского бассейна, то здесь необходимо продолжить работы по исследованию Камской впадины.

Библиографический список

1. Балло М.Б., Карасева Т.В., Капитанова А.С. Особенности геологического строения африканского осадочного бассейна Таудени в связи с нефтегазоносностью // Вестник Пермского университета. Геология, 2020, т.19, №4, с. 388-395.
2. Белоконь (Карасева) Т.В., Горбачев В.П., Балашова М.М. Строение и нефтегазоносность рифейско-вендских отложений востока Русской платформы. - Пермь, 2001. - 108 с.
3. Белонин М. Д., Маргулис Л. С. Нефтегазовый потенциал и перспективы освоения углеводородных ресурсов Востока России // Нефтегазовая геология. Теория и практика. – 2006. – Т. 1. – С. 6-16.
4. Ибламинов Р. Г. Минерагединамика нефтегазоносных бассейнов // Вестник Пермского университета. Геология. – 2007. – №. 4. – С.8-25.
5. Сурков В. С. Рифтогенез и нефтегазоносные бассейны Сибири // Геология нефти и газа. – 1998. – №. 11. – С. 33-36.
6. Трофимук А. А. Нефтегазоносность Сибирской платформы // Геология и геофизика, 1960, №7. – С. 3-12.
7. Villeneuve M., Cornee J. Structure, evolution and palaeogeography of the West African Craton and bordering belts during the Neoproterozoic//Precambrian Research. 1994. № 69. P. 307–326.
8. Waters C.N., Schofield D.I. Contrasting late Neoproterozoic to Ordovician successions of the Taoudeni Basin, Mauritania, and Souss Basin, Morocco// Journal of African Earth Sciences. 2004. v. 39. № 3–4, P. 301–309.

ПРИМЕНЕНИЕ ПОЛИМЕРНОГО ЗАВОДНЕНИЯ НА ТУРНЕЙСКОМ ОБЪЕКТЕ СТЕПАНОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

При разработке залежей с высокой неоднородностью по фильтрационно-емкостным свойствам (ФЕС) и низкой подвижностью, связанной с повышенной вязкостью пластовой нефти (30-200 мПа·с), при традиционном заводнении снижается коэффициент извлечения нефти (КИН). С целью увеличения доли разрабатываемых запасов вязкой нефти на месторождениях Пермского края применяются специальные методы и технологии увеличения нефтеотдачи (МУН), позволяющие увеличивать конечный коэффициент нефтеизвлечения. Одним из технологий повышения эффективности разработки залежей с высоковязкой нефтью является полимерное заводнение, которое эффективно при высокой обводненности продукции скважин.

Показана возможность применения технологии полимерного заводнения на турнейском объекте разработки (пласт C_{1t}) Степановского месторождения. Приведены критерии применимости технологии полимерного заводнения, полученные на геолого-гидродинамической модели в программном комплексе TempestMore компании ROXAR. Рассмотрены прогнозные варианты: базовый без закачки полимерного раствора; с закачкой раствора полимера в пласт с различным объемом оторочки.

Ключевые слова: полимерное заводнение, третичные методы увеличения нефтеотдачи, высоковязкая нефть, критерии применимости, гидродинамическое моделирование, залежь нефти, скважина, коэффициент нефтеотдачи, обводненность.

APPLICATION OF POLYMER FLOODING AT THE TURNEY SITE OF THE STEPANOVSKOYE FIELD

Abstract: When developing deposits with high heterogeneity in permeability and reservoir properties (reservoir properties) and low mobility, taking into account the increased viscosity of reservoir oil (30-200 mPas), with traditional waterflooding, the oil recovery factor (ORF) decreases. With the goal of increasing the applied reserves of viscous oil in the fields of the Perm Territory, special methods and technologies for enhancing oil recovery (EOR) are used, which make it possible to increase the final oil recovery factor. One of the technologies to improve the efficiency of the development of deposits with high-viscosity oil is polymer flooding, which is effective at high water-cut of well production.

The possibility of using polymer flooding technology at the Tournaisian development target (C_{1t} reservoir) of the Stepanovskoye field is shown. The applicable models of polymer flooding technology obtained on the geological and hydrodynamic model in the Tempest software package are presented. More details from ROXAR. The following forecast options are considered: basic without injection of polymer solution; with injection of a polymer solution into a reservoir with a different rim volume.

Key words: polymer flooding, enhanced oil recovery (EOR) methods, high-viscosity oil, screening criteria, hydrodynamic simulation, oil pool, well, oil recovery coefficient, well stream watering.

Полимерное заводнение заключается в добавлении полимера в воду для уменьшения ее подвижности. Получаемое увеличение вязкости, а также уменьшение проницаемости по водной фазе, которое происходит при использовании некоторых полимеров, является причиной более низкого отношения подвижностей [1].

Цель исследования: оценить возможный эффект от проведения полимерного заводнения на залежи нефти с помощью гидродинамического моделирования.

Для реализации технологии полимерного заводнения выбрана залежь пласта C_{1t} Степановского месторождения, которая характеризуется наличием остаточных запасов плотностью от 0.0 до 0.5 тыс.т/тыс.м².

Разработка залежи ведется с 1985 г., а формирование системы заводнения началось в 1987 г. В качестве закачиваемого агента используется пресная подземная вода. На дату анализа действующий фонд составил 10 добывающих, 3 нагнетательных скважины. Высокая обводненность – основная причина выбытия добывающих скважин из эксплуатации.

Совмещенная карта текущей эксплуатации и плотности запасов турнейского объекта Степановского месторождения по состоянию на 01.07.2020 приведена на рисунке 1.

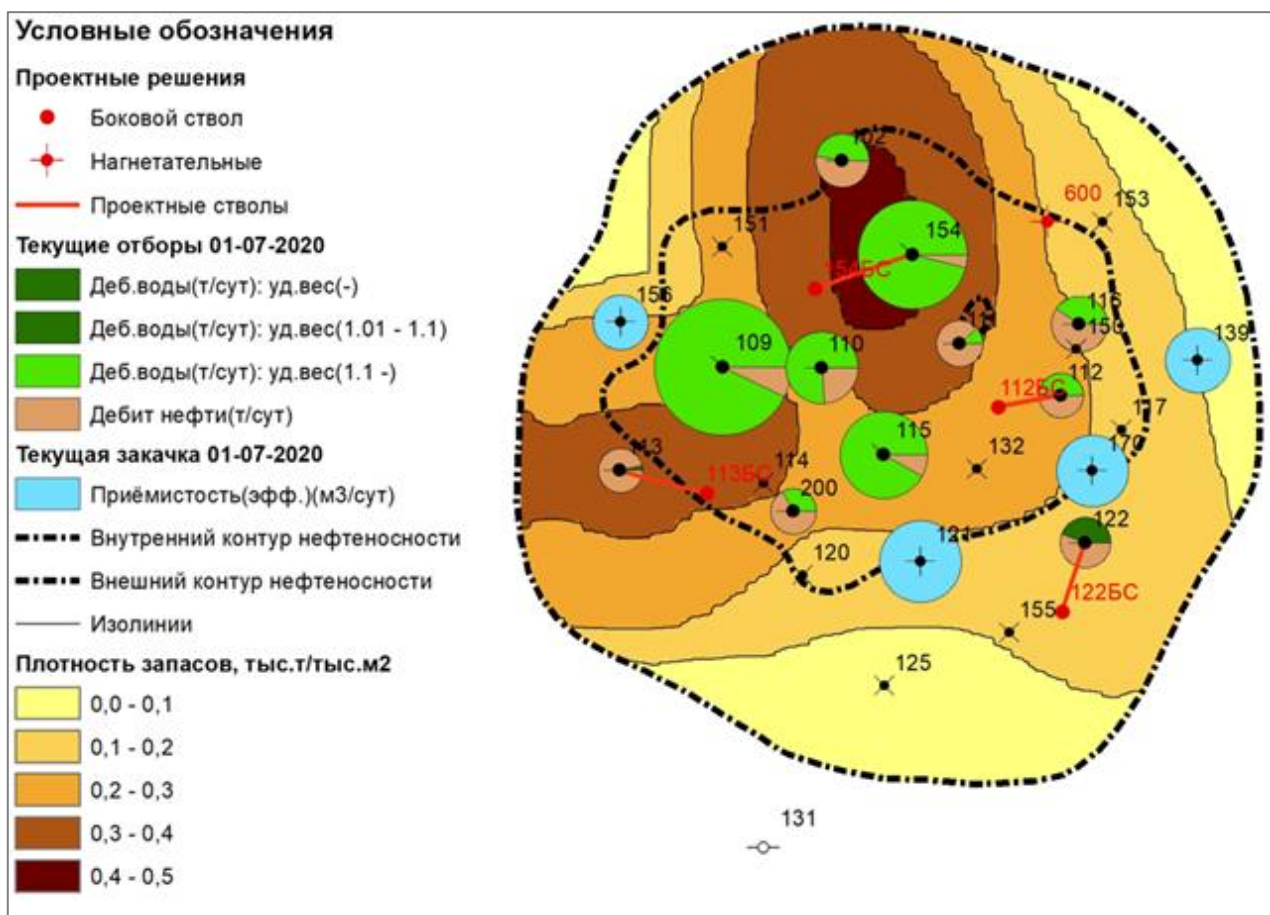


Рис. 1. Распределение плотности запасов на 01.07.2020. Степановское месторождение. Объект C_{1t} .

Анализ разработки объекта свидетельствует:

1. Эксплуатация ведется в условиях высоких темпов обводнения продукции на завершающей стадии разработки залежи.

2. Выработка запасов по разрезу происходит неравномерно, отмечается несоответствие интервалов приема в нагнетательных скважинах и отдачи в добывающих.

3. Динамика пластового давления связана с объемами нагнетания воды в залежь, что свидетельствует о наличии гидродинамической связи между добывающими и нагнетательными скважинами.

Анализ отечественного и зарубежного опыта применения полимерного заводнения, позволил определить критерии применимости полимерного заводнения на выбранной залежи-пласта C_{1t}.

Соответствие турнейской залежи критериям применимости технологии полимерного заводнения представлено в таблице 1.

Таблица 1 - Критерии применимости технологии полимерного заводнения относительно турнейской залежи

1. Геолого-физические:		Объект разработки C _{1t}
– литология:		карбонатный
предпочтительный пласт	терригенный	
возможный пласт	карбонатный	
– тип коллектора	поровый	поровый
– проницаемость, мкм ² :		0,549
предпочтительная	0,1–0,5	
возможная	0,05–1,0	
– вязкость нефти в пластовых условиях, мПа·с:		68,92
предпочтительная	5–125	
возможная	до 10 000	
– температура, °С:		30
предпочтительная	до 70	
возможная	до 90	
– нефтенасыщенность, %:		73
предпочтительная	более 30	
возможная	более 15	
расчлененность разреза	более 1	21
эффективная толщина – м	3–38	13,4
глубина залежи – м	менее 3000	1313,3
пористость – %	7–32	13,1
2. Технологические:		
– наличие действующей системы поддержания – пластового давления (ППД)	внутриконтурное заводнение	заводнение внутриконтурное
– текущая обводненность добываемой продукции, %:		87,6
предпочтительная	не более 92	
возможная	более 0	
– отсутствие газовой шапки и внутрипластового разгазирования (отношение пластового давления к давлению насыщения)	более 1	Газовая шапка и внутрипластовое разгазирования отсутствует (отношение составляет >1)

Вышеуказанные критерии технологии полимерного заводнения рекомендованы к реализации.

В этом случае применение полимерного заводнения следует рассматривать в 2-х направлениях:

1. При увеличении конечной нефтеотдачи турнейской залежи с высоковязкой нефтью, превышающей 30 мПа·с, наблюдаются осложнения при добыче нефти, снижается эффективность традиционного заводнения продуктивных пластов, в этом случае, если не применять специальные методы и технологии МУН, то это приведет к снижению КИН [3]. Известно, что полимерное заводнение в благоприятных условиях позволяет дополнительно добывать 5-10 % нефти, оставшейся после традиционного заводнения [4,6].

2. Как метод борьбы с обводнением, полимерное заводнение является одним из первых испытанных физико-химических методов воздействия на пласт, снижающих проницаемость водопроводящих каналов и способствующих повышению охвата пласта заводнением остается одним самых эффективных методов предотвращения обводнения на сегодняшний день. Технология заключается в добавлении в воду полимера для увеличения вязкости, уменьшения подвижности и проницаемости по водной фазе, в результате этого происходит выравнивание профиля приемистости, и как следствие снижение обводнённости.

Для оценки прогнозной технологической эффективности применения полимерного заводнения использовалась гидродинамическая модель в симуляторе Tempest MORE.

Характеристика геолого-гидродинамической модели объекта C_{1t} (Т) приведена в таблице 2.

Таблица 2 - Характеристика геолого-гидродинамической модели объекта C_{1t}

Число блоков сетки	93x94x25
Размеры блока сетки, м:	
горизонтальные	25x25
вертикальные	2,18
Число активных блоков модели	64114

Внешний вид гидродинамической модели на примере куба нефтенасыщенности приведен на рисунке 2. В качестве полимерных составов выбраны высокогидролизированные полимеры (Floraam), которые зарекомендовали себя на месторождениях Пермского края, характеризующиеся такой же высокой минерализацией пластовых вод (244 и 256,39 г/л) [5].

Из опыта применения полимерного заводнения на нефтяных месторождениях Пермского края следует, что объем оторочки раствора полимера составляет 0,1-0,4 порового объема [2].

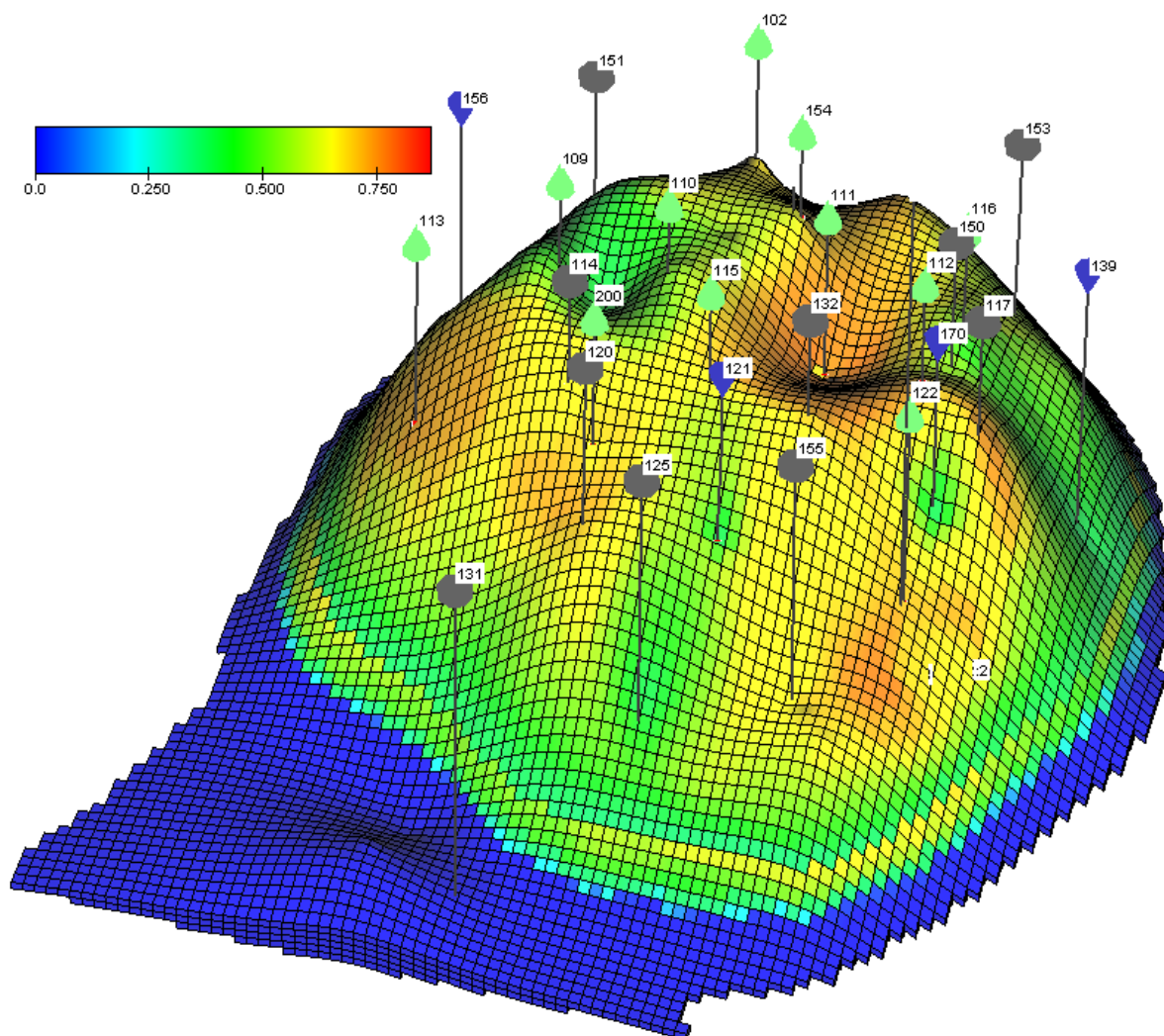


Рис. 2. Внешний вид гидродинамической модели объекта C_{1t} (Т) на примере куба нефтенасыщенности. Степановское месторождение. Объект C_{1t} .

Поэтому, на гидродинамической модели рассчитаны 4 прогнозных варианта: базовый без закачки полимерного раствора; с закачкой полимерного раствора концентрацией 0,1 % с размером полимерной оторочки 20, 30, 40 % объема порового пространства.

Результаты расчетов накопленной добычи нефти представлены на рисунке 3.

Видно (рис. 3), что при расчете прогнозных вариантов на период, равный 30 годам, с увеличением размера создаваемой в пласте оторочки, дополнительная добыча нефти возрастает на 9%.

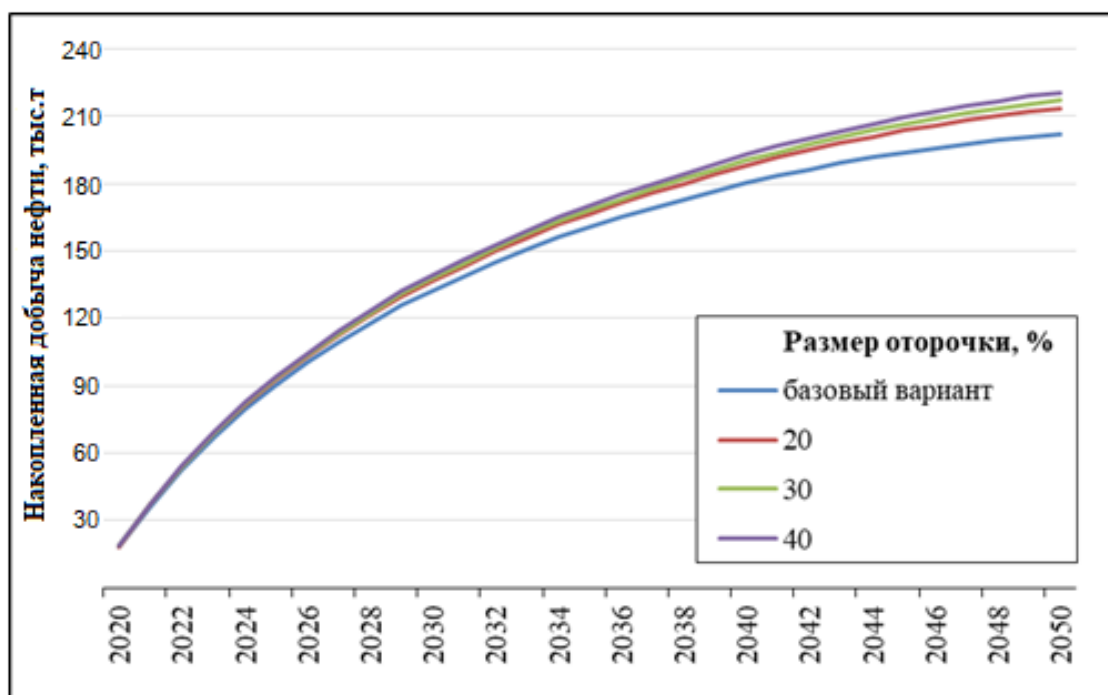


Рис. 3. Динамика расчетной накопленной добычи нефти при разном размере оторочки полимерного раствора. Степановское месторождение. Объект С_{1т}.

Выводы

С помощью геолого-гидродинамической модели рассчитаны варианты закачки раствора полимера в пласт. Установлено, что с увеличением размера создаваемой в пласте оторочки, возрастает дополнительная добыча нефти.

Максимальная добыча получена при размере полимерной оторочки, равной 40 % порового объема, которая выше показателя по базовому варианту на 9 %.

Таким образом, предложенная технология полимерного заводнения на турнейском объекте Степановского месторождения является перспективной.

Библиографический список

1. Гладких А.Е. Полимерное заводнение как метод борьбы с обводнением// Научный форум. Сибирь – 2017. – Т. 3. - №1. – С. 14–15.
2. Лядова Н.А. Распопов А.В. Бондаренко А.В. Ковалевский А.И. Черепанов С.С. Балдина Т.Р. Перспективы применения полимерного заводнения на месторождениях Пермского региона // Нефтяное хозяйство. – 2016. – № 6. – С. 94–96.
3. Мордвинов В.А. Поплыгин В.В. Поплыгина И.С. Варианты полимерного заводнения залежи с высоковязкой нефтью// Вестник ПНИПУ. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2015. - №14. – С. 39–51.
4. Сургучев М.Л. Вторичные и третичные методы увеличения нефтеотдачи пластов. – М.: Недра, 1985. – 308 с.
5. Филатов М.А. Вишняков А.Ю. Турбаков М.С. Илюшин П.Ю. Моделирование полимерного заводнения при разработке Москудьинского нефтяного месторождения//// Нефтяное хозяйство. – 2013. – № 8. – С. 93–95.
6. Лэйк Л. Основы методов увеличения нефтеотдачи. – Остин (шт. Техас, США): Университет Техас-Остин (EOR Fundamentals by Larry Lake U of Texas-Austin. The Society of petroleum engineer), 2005.

ПРИМЕРЫ И НЕКОТОРЫЕ СТАТИСТИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ О РАЗЛИВАХ НЕФТИ И НЕФТЕПРОДУКТОВ

Анализируются и обобщаются данные о катастрофических разливах нефти и нефтепродуктов, официальная статистика по разливам на нефтепроводах РФ за последнее десятилетие и характеризуются основные методы и технологии борьбы с нефтяными загрязнениями с целью использования при чтении курса «Менеджмент в геологии и недропользовании» студентам ПГНИУ.

Ключевые слова: разливы нефти и нефтепродуктов, способы ликвидации нефтяных Загрязнений.

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

EXAMPLES AND SOME STATISTICS ON OIL AND PETROLEUM PRODUCT SPILLS

The article analyzes and summarizes data on catastrophic oil and petroleum product spills, official statistics on spills over the past decade in Russia, and describes the main methods and technologies for combating them for use in the course "Management in Geology and Environmental management" for students of Perm State University, Perm.

Keywords: oil and petroleum product spills, methods of oil spill elimination.

Катастрофические разливы нефти известны с начала освоения нефтяных месторождений, с конца XIX в. Причем уже в начале XX в. (1910 г.) произошел крупнейший в истории разлив нефти, который по своим масштабам превзошел даже катастрофы, связанные с целенаправленным уничтожением запасов нефти в ходе боевых действий в Персидском заливе (см. табл. 1). Авария произошла в американском местечке Лэйквью (Lake View Gusher) в 1910 г. Нефтяной фонтан из скважины, пробуренной с нарушениями техники безопасности, бил 18 месяцев, что привело к разливу приблизительно 1 300 000 тонн нефти. Фонтан пытались закрыть коробкой из бревен, но из этого ничего не вышло. Технология консервирования неконтролируемых скважин еще не была разработана. Вокруг скважины соорудили ограждение из мешков с песком, которое постоянно надстраивали, чтобы нефть не переливалась (см. рис. 1). В конечном итоге скважина была взорвана. Несмотря на огромный объем излившейся нефти утечка не нанесла огромного ущерба природе потому что нефть не попала в океан - загрязнены были лишь близлежащие озера и небольшие водоемы. Даже спустя 100 лет следы катастрофы остались на огромной территории.

Самым крупным разливом нефти в России считают аварийный разлив из нефтепровода под Усинском в Республике Коми в августе 1994г. На значительном протяжении нефтепровода образовались многочисленные

коррозионные отверстия, через которые произошла массовая утечка нефти. По оценкам специалистов, возникшая экологическая катастрофа оказалась крупнейшей в истории нефтедобычи СССР и России [1]. Были загрязнены территории, на которых проживало 64 тысячи человек. По официальным данным вылилось 14 000 т, по неофициальным – до 300 000 т нефти.

Таблица 1. Некоторые наиболее крупные разливы нефти

	Причина	Годы	Тонны	Место
Lakeview Gusher	Разлив из скважины	1910–1911	1 300 000	США, округ Керн
Дельта Нигера	4 835 различных инцидентов	1976–1996	258 - 328 000	Нигерия
«Амоко Кадис»	Сел на мель и раскололся	1978	227 000	Франция, Бретань
Платформа Ixtoc I	Взрыв при бурении скв.	1979–1980	453 -480 000	Мексиканский залив
«Atlantic Empress»	Столкновение танкеров	1979	287 000	Тринидад и Тобаго
Nowruz field platform	Атака иракского вертолета	1983	260 000	Иран
«Castillo de Bellver»	Пожар на танкере	1983	252 000	ЮАР
«Odyssey»	Взрыв на танкере	1988	132 000	Канада
«Exxon Valdes»	Танкер натолкнулся на риф	1989	37 - 104 000	Аляска
Персидский залив	Военная операция Ирака	1991	1 200 000	Кувейт
Ферганская долина	Выброс нефти из скважины	1992	285 000	Узбекистан
Усинск	Изношенность нефтепровода	1994	14–300 000	Республика Коми
Deepwater Horizon	Взрыв нефтяной платформы	2010	492 - 627 000	Мексиканский залив
Xingang Port	Взрыв на нефтепроводе	2010	90 000	Китай, Желтое море
ExxonMobil oil spill	Утечка из нефтепровода	2010	95 500	Дельта р. Нигер

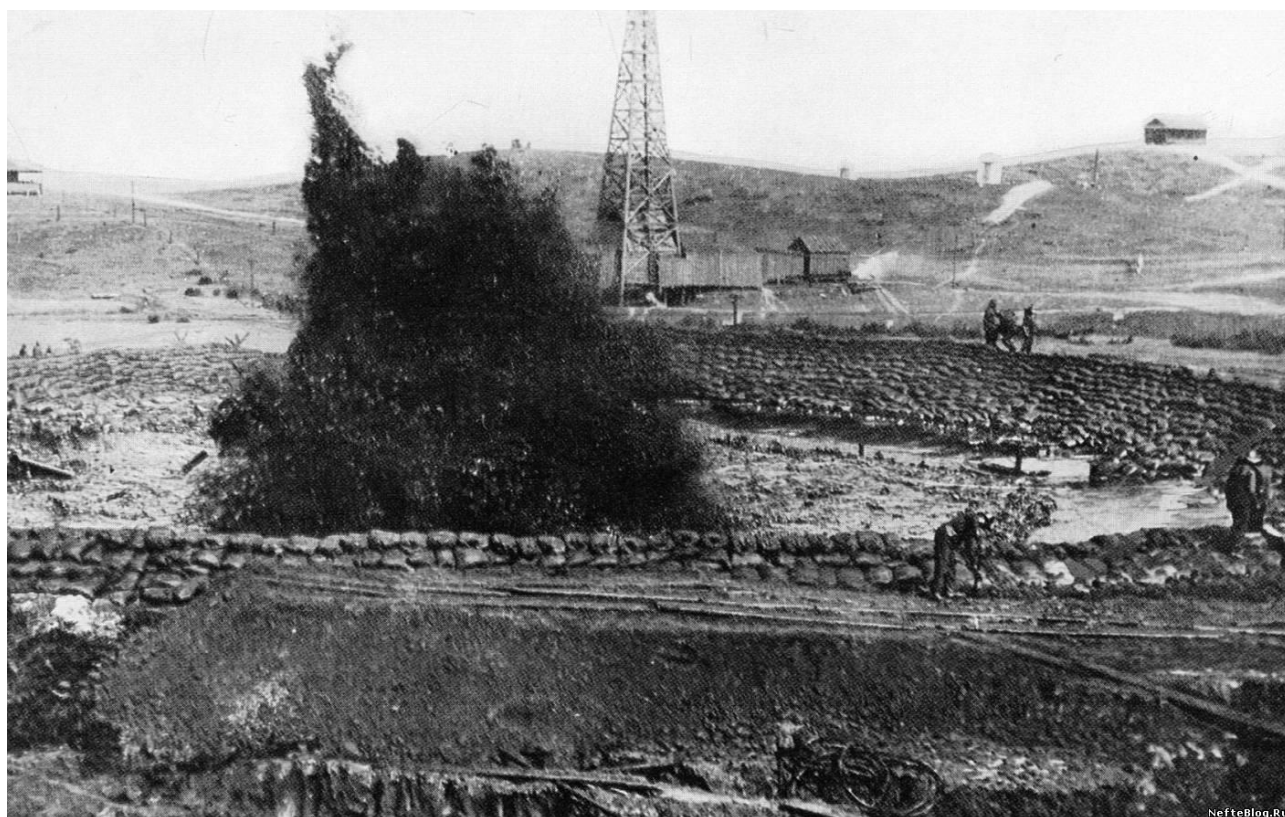


Рис. 1. Борьба с разливом нефти в местечке Лэйквью (США) в 1910 г.

Разливы нефти и нефтепродуктов – достаточно распространенное явление. По данным Минприроды РФ только в 2019 г. на предприятиях топливно-энергетического комплекса произошла 17 171 авария с разливами нефти [2]. Это значит, что нефтяные аварии в 2019 г. случались в России каждые полчаса.

На рис. 2 приведены данные о разливах нефти на нефтепроводах РФ с 2011 по 2019 гг., а на рис. 3 – о нефтяных загрязнениях в 2015–2018 гг. Сведения - из ежегодных Государственных докладов «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации».

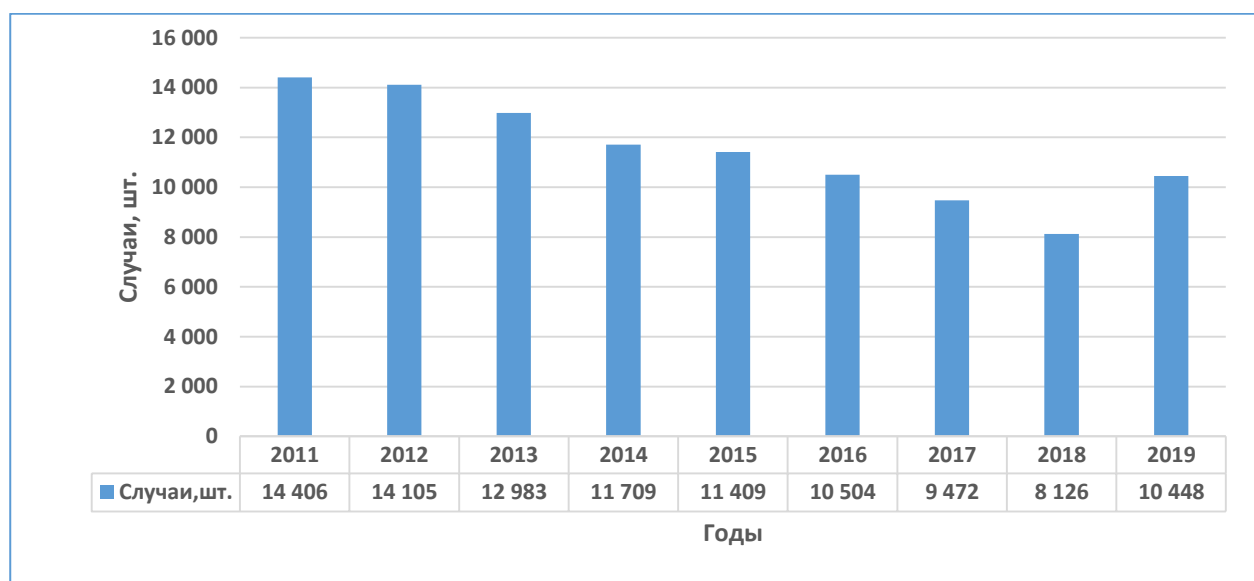


Рис. 2. Количество порывов промысловых нефтепроводов [2]

На предприятиях топливно-энергетического комплекса повреждения нефтепроводов происходят чаще чем газопроводов и составляют обычно 60 % от общего количества порывов трубопроводов. Основная доля (90 - 92 %) аварий, связанных с разливами нефти происходит из-за коррозии металла труб. Помимо изношенности нефтепроводов причинами разливов нефти и нефтепродуктов, происходящих в результате аварий, являются: не оперативное реагирование на аварии и происшествия; неслаженность действий при локализации и ликвидации разливов; недостаточность сил и средств, необходимых для предупреждения разливов нефти и нефтепродуктов, своевременного реагирования на них, локализации и ликвидации последствий.

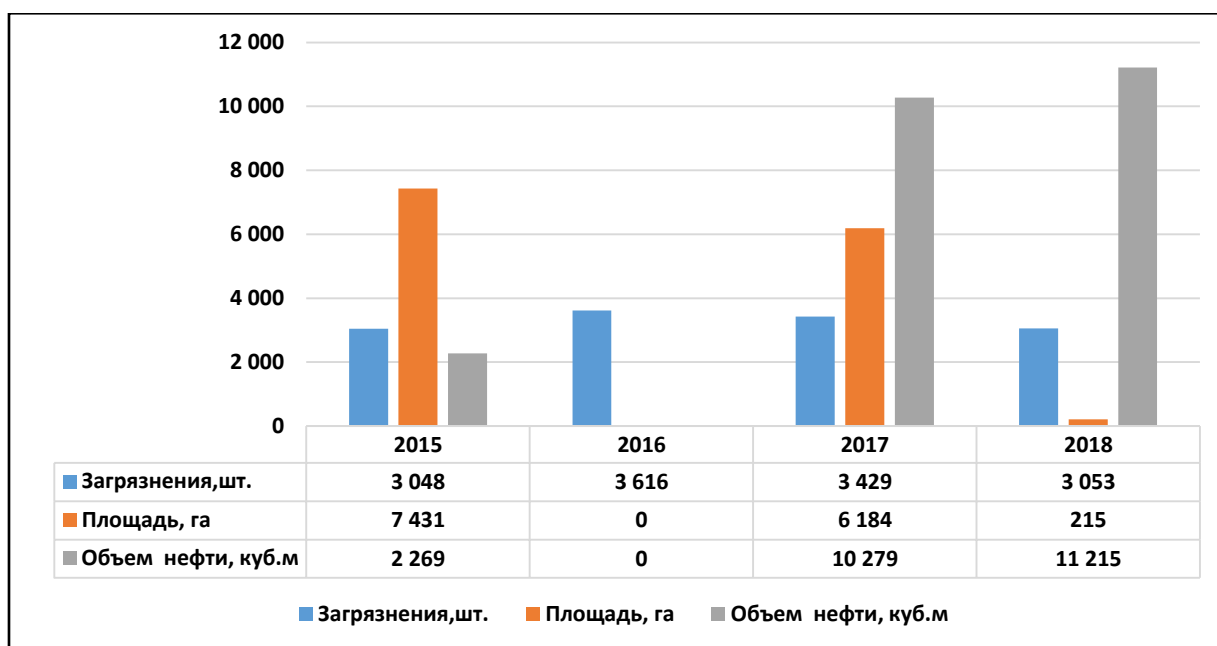


Рис. 3. Данные о количестве, суммарной площади загрязнений и объеме нефти, поступившей в окружающую среду

Следует отметить, что за период 2011-2019 гг. выявлена устойчивая тенденция к снижению числа порывов, характеризующаяся линейным спадом как количества случаев, так и площади загрязнения. Этому способствовали законодательные и административные акты и приказы Правительства РФ и МЧС России [4, 5, 6]. Согласно регламентирующим документам организации, осуществляющие разведку месторождений, добычу нефти, а также переработку, транспортировку и хранение нефти и нефтепродуктов, должны иметь «План по предупреждению и ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов», разработанный в соответствии с нормативными требованиями по технике безопасности. План подлежит согласованию в установленном Правительством РФ и МЧС России порядке.

Такие организации обязаны: – создавать собственные формирования (подразделения) для ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов, проводить аттестацию указанных формирований в соответствии с законодательством Российской Федерации, оснащать их специальными техническими средствами или заключать договоры с профессиональными аварийно-спасательными формированиями (службами), выполняющими работы по ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов, имеющими соответствующие лицензии и (или) аттестованными в установленном порядке; – немедленно оповещать в установленном порядке соответствующие органы государственной власти и органы местного самоуправления о фактах разливов нефти и нефтепродуктов и организовывать работу по их локализации и ликвидации; – иметь резервы финансовых средств и материально-технических ресурсов для локализации и ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов.

Существует несколько способов ликвидации нефтеразливов. У каждого из них есть свои достоинства и недостатки. **Механический способ** экологичен. Заключается в использовании различного рода нефтесборщиков и установок

для сепарации воды от нефтепродуктов (рис. 4). На воде, чтобы пятно не увеличивалось, используют специальные боновые заграждения. Далее нефть собирают с помощью специальных насосов и рукавов. Механический способ – не самый эффективный, поскольку позволяют собрать не все топливо.

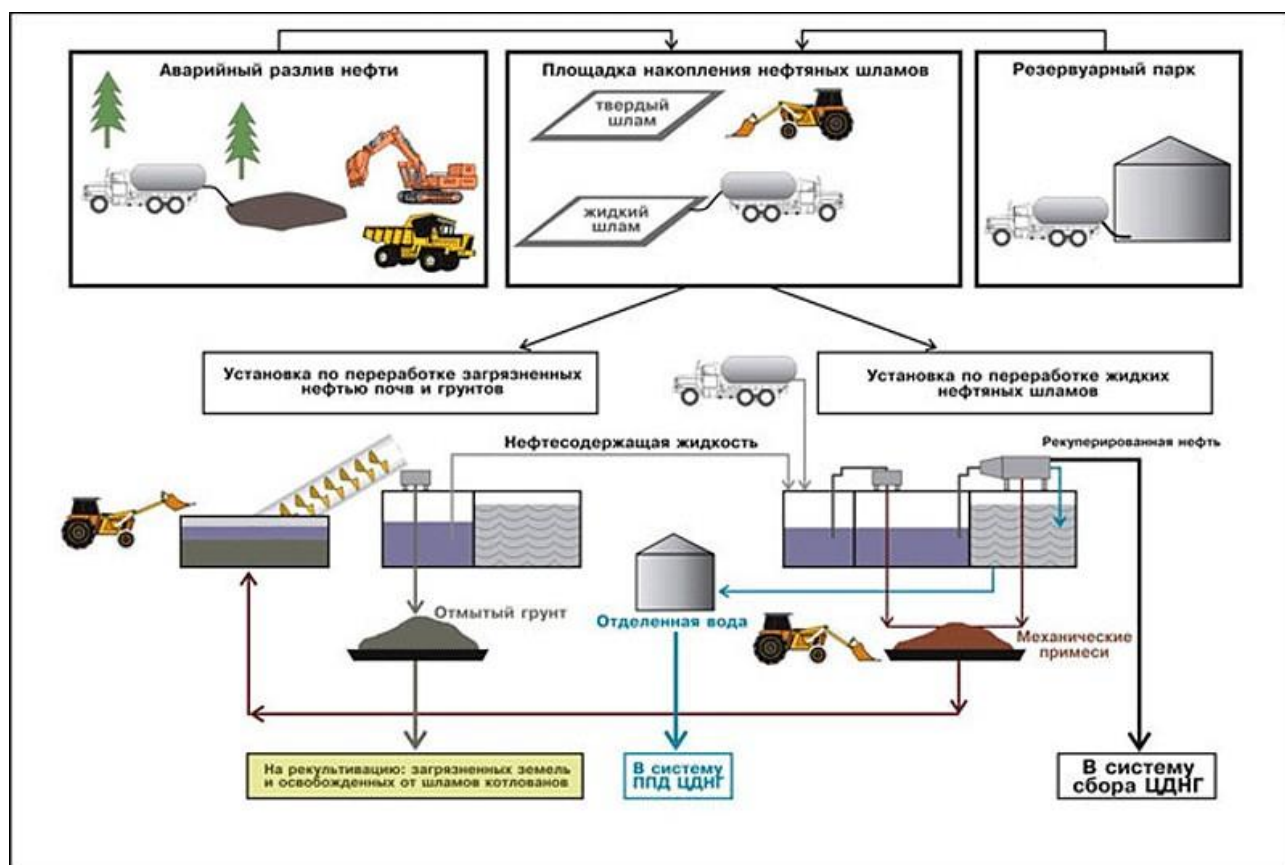


Рис. 4. Механические способы ликвидации разливов

Термический способ (сжигание нефти) – самый простой, но губительный для экологии. Такой метод, например, применили при разливе нефти после аварии танкера «Еххон Valdez» у берегов Аляски в 1989 году. Способ эффективен только в первые дни, когда нефтяная пленка на поверхности воды еще толстая. На суше такой способ чаще всего используется вместе с механическим (с последующим после сжигания сбором несгоревших остатков).

На воде нефтяное пятно очень тонкое, поэтому собрать его без диспергентов и сорбентов (**химический способ**) затруднительно. Химические реагенты токсичны и применение их (особенно на мелководье) очень опасно, поскольку может навредить экосистеме. Метод стараются применять только в экстренных случаях. Так ликвидировали последствия аварии в Мексиканском заливе в 2010 г., когда взорвалась нефтяная платформа Deepwater Horizon, и нефть непрерывно поступала в акваторию залива. Лучше использовать химические сорбенты совместно с **микробиологическими препаратами**. Сорбенты впитывают нефтепродукты, а микроорганизмы тут же начинают их перерабатывать.

В качестве альтернативы химическим реагентам иногда применяют **природные сорбенты** — например, шелуху семян риса или подсолнечника,

крошку древесного угля или опилки. Они действуют как гигантская губка. В этом случае ущерб природе от очистки будет минимальным, но проблема в том, что такие сорбенты собирают не так много нефтепродуктов, как химические.

Полная очистка места загрязнения от нефти возможна при применении **биологического способа**, который чаще всего становится финальной стадией предыдущих. Основан на использовании *бактерий* — их распыляют на поверхность загрязнения уже после того, как большая часть нефтяных продуктов уже нейтрализована. Для этого используются высушенные микроорганизмы. Микробную биомассу высушивают с помощью сорбентов или другим способом. В итоге получается порошок со спорами микробов и живыми клетками. Некоторые виды грибов также способны «переваривать» нефтепродукты, но вырастить их гораздо сложнее, чем бактерии.

Борьба с авариями на нефтепроводах сложна и требует привлечения значительных людских и финансовых ресурсов. Поэтому в последние годы разработано достаточно большое количество современных методов обнаружения утечек и незаконных врезок в нефтепроводы, которые подразделяются на две категории: постоянного и периодического контроля [7].

Библиографический список

1. *Ликвидация последствий экологической катастрофы в Республику Коми*, 1994 год. Сайт Главного управления МЧС России по Нижегородскому округу. 52.mchs.gov.ru/4080891. 14.02.2020.
2. «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2019 году». Государственный доклад. — М.: Минприроды России; МГУ имени М.В. Ломоносова, 2020. 1000 с.
3. *Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2017 г»*. Интерактивная версия доклада на сайте Минприроды РФ. [mnr.gov.ru.doklady...o_sostoyanii...ob_okhrane...sredy](http://mnr.gov.ru/doklady...o_sostoyanii...ob_okhrane...sredy).
4. *Постановление Правительства РФ от 15.04.2002 г. № 240 «О порядке организации мероприятий по предупреждению и ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов на территории Российской Федерации (с изменениями на 14 ноября 2014 г.)»* mchs.gov.ru/dokumenty/postanovleniya-pravitelstva.
5. *Приказ МЧС России от 08.07.2004 N 329 (ред. от 24.02.2009) "Об утверждении критериев информации о чрезвычайных ситуациях"*. 30.mchs.gov.ru/rossii/prikaz...rf...8-07-2004...329-ob.
6. *Постановление Правительства Российской Федерации от 14.11.2014 № 1189 «Об организации предупреждения и ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов на континентальном шельфе Российской Федерации, во внутренних морских водах, в территориальном море и прилегающей зоне Российской Федерации»*. publication.pravo.gov.ru/Document...0001201411180014.
7. *Способы обнаружения утечек из нефтепроводов*. [lcert.ru/stati/metody-opredeleniya-utechek...vrezok v neftehrovody](http://lcert.ru/stati/metody-opredeleniya-utechek...vrezok-v-neftehrovody) | 2020 Единый Стандарт

ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕРРИГЕННОГО ДЕВОНА ВОЛГО-УРАЛЬСКОЙ НЕФТЕГАЗОНОСНОЙ ПРОВИНЦИИ

Работа посвящена обобщению информации об изучении девонского терригенного нефтегазового комплекса Волго-Уральской нефтегазовой провинции. Рассмотрена значимость комплекса для провинции, сопоставлена информация об индексации пластов коллекторов. Дана общая характеристика мощностей, литологии и зон распространения отложений эмского, эйфельского, живетского ярусов и нижнефранского подъяр

уса. В заключении статьи коротко сформулированы основные закономерности геологического строения и нефтегазовости рассмотренного комплекса.

Ключевые слова: Волго-Уральская нефтегазовая провинция, девонский терригенный комплекс пород, эмско-нижнефранский литолого-фациальный комплекс.

CHARACTERISTICS OF THE TERRIGENIC DEVON OF THE VOLGA-URAL OIL AND GAS PROVINCE

The work is devoted to the generalization of information on the study of the Devonian terrigenous oil and gas complex of the Volga-Ural oil and gas province. The importance of the complex for the province is considered, information on the indexing of reservoir layers is compared. A general characteristic of the thickness, lithology and zones of distribution of deposits of the Emsian, Eifelian, Givetian stages and the Lower Frasnian substage is given. In the conclusion of the article, the main regularities of the geological structure and oil and gas content of the considered complex are briefly formulated.

Key words: Volga-Ural oil and gas province, Devonian terrigenous complex of rocks, Emsko-Lower Frasnian lithological-facies complex.

Введение

Открытие и освоение Волго-Уральской нефтегазовой провинции в 1929 году было большим шагом к развитию нефтяной отрасли в СССР. На данный момент провинция занимает одно из ведущих мест по добыче нефти в стране, но с каждым годом уменьшается количество вновь открытых и разведанных ресурсов. Закономерно встает очень важный вопрос: куда направить основной ориентир в поисках и разведке углеводородов?

В последние годы представляет большой интерес освоение менее разбуренных и изученных терригенных отложений девона для поддержания ресурсной базы Волго-Уральской нефтегазовой провинции. По текущим данным, карбонатные и терригенные отложения девона содержат около 62 % запасов категории $A + B_1 + B_2$, при этом еще являются перспективными с точки зрения прироста промышленных запасов. Изучение условий формирования, особенностей распределения пород терригенного девона очень важно для нефтегазовой промышленности Урало-Поволжья.

Нефтегазоносность Волго-Урала

Волго-Уральская нефтегазоносная провинция (ВУНГП) является старейшим нефтедобывающим районом страны. Провинция расположена в восточной части Европейской территории Российской Федерации, приурочена к восточной части Восточно-Европейской платформы и Предуральскому прогибу; ограничена на севере и востоке Тиманом, Уралом, на юге граничит с Прикаспийской синеклизой, на западе с Воронежским сводом и Токмовско-Сысольской системой сводов.

Нефтегазоносные комплексы представлены отложениями девонского, каменноугольного и пермского возрастов, также отмечены нефтепроявления и немногочисленные залежи в породах рифей-вендского возраста. Несмотря на длительный период геологических исследований и накоплению огромного объема фактического материала, длительное время не проводятся обобщающие работы по всей территории ВУНГП. В статье проведено сопоставление и обобщение информации о строении девонского терригенного нефтегазоносного комплекса по данным своих исследований и других ученых, занимавшихся изучением терригенного девона в разные периоды времени.

Нефтегазоносность самых значимых месторождений Волго-Урала связана с отложениями терригенного девона, например, Ромашкинское (Республика Татарстан), Шкаповское, Туймазинское (Республика Башкортостан), Мухановское (Самарская область) и ряд других. Не смотря на схожие геологические условия, в ходе эксплуатации в каждом регионе сложилась своя индексация продуктивных пластов, сопоставление данной информации по регионам провинции представлено в таблице 1.

Таблица 1. Индексация пластов коллекторов терригенного девона

Возраст	Саратовская обл.	Волгоградская обл.	Ульяновская обл.	Самарская обл.	Респ. Татарстан	Респ. Башкортостан	Пермский край	Кировская обл.
$D_3 f_1 tm$	$D_3 I$ $D_3 I^A$	—	D_0 —	D_0 D'_K	D_{kn-III} D_{kn-IV} D_{kn-V}	D_0	D_0	D_0
$D_3 f_1 ps$	$D_3 II$ $D_3 III$	$D_3 II$ $D_3 III$	—	$D I$ $D II$	D_p-I D_p-II	D_I	D_1	D_I, D_{II} и D_{III}
$D_2 g ml$			$D II$		D_{ml-I} D_{ml-II}	D_{II}	D_2	
$D_2 g ar$	$D_2 IV$ $D_2 IV^A$ $D_2 IV^B$	$D_2 IV-I$ $D_2 IV^A-V$	$D III$	$D^I III$ $D III$	D_{st-II} D_{st-III}	D_{III}	D_3	
$D_2 g vb$	$D_2 V$ $D_2 VI$	$D_2 V$ $D_2 VI$	$D IV$	$D IV-1$ $D IV-2$	D_{vb-I} D_{vb-II}	D_{IV}		
$D_2 ef_2^*$				D_v^I				
$D_2 ef_1^{**}$				D_{2v}	D_{bs-V}			D_v D_{IV}
D_{Ie}						D_V	D_5	

*афонинский, ** бийский

Геологическое строение

Девонский терригенный нефтегазоносный комплекс представлен породами эмского, эйфельского, живетского яруса и нижней части нижнефранского подъяруса.

Нижний отдел девонской системы представлен породами такатинской, вязовской и нижней частью койвенского горизонтов *эмского яруса*. Отложения имеют локальное распространение в пределах ВУНГП, они встречены на Соль-Илецком своде, в западной части Бузулукской впадины, на юге Юрюзано-Сылвенской депрессии и в зоне распространения Верхнекамско-Чусовской палеовпадины. Отложения представлены терригенными и карбонатно-терригенными разностями, мощность от первых метров до ста.

Средний отдел девонской системы представлен породами эйфельского и живетского ярусов. *Эйфельские отложения* на юге ВУНГП (Самарская, Оренбургская области) представлены преимущественно карбонатными разностями мощностью до 200 м, в центральной части (Республики Татарстан и Башкортостан, западная территория Удмуртии), где в эйфельское время существовали и являлись основными источником сноса палеосводы, породы данного возраста практически отсутствуют. На севере (Пермский край и Кировская область) породы встречены не повсеместно, в Казанско-Кажимском авлакогене (ККА) и Верхнекамско-Чусовской палеовпадине (ВЧП) разрез представлен преимущественно терригенными и терригенно-карбонатными разностями. При этом в позднеэйфельское время в ВЧП отмечается регрессивный этап развития, площадь осадконакопления существенно сокращается, в ККА напротив отмечаются нисходящие тектонические движения, и увеличение мощностей отложений. На севере Волго-Урала мощность отложения местами достигает 80 м. *Живетский ярус* представлен отложениями воробьевского, ардатовского и муллинского горизонтов. Полнота разреза и мощности отличаются по всей территории провинции. На юге мощность достигает 200 м, в центральной части и на севере до 100 м, максимальные мощности отмечены в ККА и составляют до 300 м.

Воробьевское время характеризуется трансгрессивным этапом развития территории, отмечается повсеместное расширение границ бассейна седиментации. На юге отложения представлены терригенными разностями, преимущественно глинистыми породами, но присутствуют и карбонатно-терригенные фации, в центральной части преобладают терригенные породы, на севере провинции комплекс залегает не повсеместно.

Ардатовское время на юге провинции характеризуется продолжением сокращения границ суши, в отложениях прослеживаются терригенные пачки, отмечается выдержанная карбонатная пачка, репер «остракодовый известняк» [8]. В центральной части провинции также отмечается продолжение трансгрессии моря, отложения преимущественно терригенных разностей, на севере происходит углубление бассейна, так в Краснокамско-Чусовской палеовпадине и ККА отмечаются повышенные мощности отложений данного возраста.

Муллинское время отличается почти повсеместным распространением глинистых пород. В целом для провинции отмечается увеличение мощности пород данного возраста с севера на юг, при этом в южных районах (Бугульминско-Бузулукская впадина) преобладают карбонатно-глинистые породы. На севере выделены палеорусла, расположенные на склонах палеосводов [5].

Нижнефранский подъярус представлен пашийскими и тиманскими породами. Пашийские породы по всей территории провинции сложены терригенными разностями с преобладанием песчаников. На юге и в центральной части мощность отложений достигает 100 м, для центральной части (Республики Татарстан и Башкирия) именно с песчаниками данного возраста связаны основные запасы УВ терригенного девона. В пределах ККА мощность пашийских отложений меняется от 50 м до 200 м [6]. На территории Пермского края пашийские отложения маломощные (не достигают 30 м), зона распространения не выдержана. В подошве данных отложений в ВЧП и ККА отмечены следы вулканической деятельности в виде туфогенных пород.

Тиманское время характеризуется продолжением отпускания дна бассейна, нарастанием трансгрессии моря, практически повсеместно прекращают свое существование палеосводы, по всей территории идет накопление преимущественно карбонатных отложений. Так на юге провинции отмечается чередование карбонатных и глинистых разностей [8], в центральной части преобладание глинисто-карбонатных, на севере в тиманских породах выделяется нижняя терригенная и верхняя невыдержанная по площади карбонатная толщи [4]. Мощность тиманских отложений на юге и в центральной части провинции изменяется в пределах 100-300 м, на севере имеет минимальные мощности, так на территории Пермского края первые десятки метров. Аномальные мощности тиманских пород отмечаются в ККА и достигают 700 м в центральной части авлакогена.

Следует отметить, что на территории Удмуртии повышенная мощность (более 100 м) рассматриваемого комплекса отмечается в центральной части, образуя вытянутую, меридионально расположенную зону, проходящую через г. Ижевск. Участки с максимальными мощностями совпадают с зонами Верхнекамско-Чусовской впадины и Башкирской седловины [3].

Заключение

Структурный план девонского терригенного нефтегазоносного комплекса унаследовал основные тектонические элементы фундамента, что характерно для всей территории Волго-Урала. Мощность комплекса существенно колеблется, так для южной части достигает 400 м, в центральной части и на севере не более 200 м, но в ККА данный комплекс имеет аномальную мощность более 1500 м. Стратиграфическая полнота, мощность и литологическое строение комплекса обусловлены преимущественно тектоническими процессами, а также процессам седиментогенеза.

Залежи углеводородов терригенного девона сосредоточены в песчаных пластах, обычно представленных кварцевыми, плохо отсортированными

песчаниками в нижней части разреза и хорошо отсортированными в его верхней части. Песчаники рыхлые или слабо уплотнённые, пласты не имеют повсеместного распространения и часто на коротких расстояниях замещаются непроницаемыми породами.

Распределение нефтегазоносности по разрезу существенно отличается, так на юге и в центральной части наиболее продуктивными являются эйфельские и пашийские породы, а в Пермском крае максимально выдержанным по площади и продуктивным является пласт D_0 тиманского горизонта [2]. Покрышкой данного комплекса на всей территории служат регионально распространённые отложения аргиллитов и глин тиманского горизонта и глинистые известняки саргаевского горизонта.

Наименее изучены породы комплекса в ККА Кировской области, хотя их промышленная нефтегазоносность подтверждена залежью легкой, малосернистой нефти на Сырьянской площади [7].

Девонские отложения в настоящее время остаются одним из перспективных объектов поисково-разведочных работ на нефть и газ в Волго-Уральской нефтегазоносной провинции, так, не смотря на уже открытые месторождения УВ в данном комплексе, далеко не по всей территории они достаточно полно изучены.

Библиографический список

1. Алиев М.М., Батанова Г.П., Хачатрян Р.О. и др. Девонские отложения Волго-Уральской нефтегазоносной провинции. М.: Недра, 1978. 216 с.
2. Кожевникова Е.Е., Карасева Т.В. Особенности формирования залежей нефти в отложениях терригенного девона южной части Пермского края // "Нефтегазовое дело": электрон. науч. журн. 2011. №5. С.302-317. URL: http://www.ngtp.ru/rub/4/1_2015.pdf
3. Соснин Н.Е. Строение и перспективы нефтеносности терригенного девона на территории Удмуртской Республики // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2009. № 11. С.21-24.
4. Сташкова Э.К., Фрик М.Г., Арасланова Р.М., Багаев А.Н. Терригенный девон Пермского края. – Пермь: АО «КамНИИКИГС», 2015 г. – 140 с.
5. Вилесов А.П., Путилов И.С. Комплексное использование литолого-фациального анализа и сейсмофациального моделирования для изучения строения терригенной толщи девона // Нефтяное хозяйство. – 2009. - № 4. – с. 23-27.
6. Грибова И.С. Геолого-геохимические предпосылки образования углеводородных скоплений в пределах Казанско-Кажимского прогиба // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2006. № 12. С. 34–38.
7. Проворов В.М., Фролов С.А., Имамов Р.Р. и др. Основные результаты и дальнейшие направления нефтепоисковых работ в Кировской области. Результаты глубокого и сверхглубокого бурения, проблемы нефтегазоносности и рудоносности: Сборник научных трудов. Пермь, КамНИИКИГС, 2000. С. 198-205.
8. Потемкин Г.Н. Литолого-тектоническая модель девонского терригенного нефтегазоносного комплекса на территории Самарского региона // Материалы XII международной молодежной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Ломоносов». [Электронный ресурс] - https://lomonosov-msu.ru/archive/Lomonosov_2015/data/6978/uid90088_report.pdf
9. Кожевникова Е.Е. Геологическое строение и нефтегазоносность девонских терригенных отложений пермского края и прилегающих территорий // Вестник Пермского университета. Геология. 2017. Т. 16. № 4. С. 393-397.

ОЦЕНКА РЕСУРСОВ УГЛЕВОДОРОДОВ ПЕРМСКОГО КРАЯ НА ОСНОВЕ УСТАНОВЛЕННЫХ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ ДЕВОНСКОГО ТЕРРИГЕННОГО КОМПЛЕКСА

Работа посвящена применению выявленных закономерностей геологического строения и нефтегазоносности терригенного девона Пермского края для решения практических задач поисковой геологии. На основе полученных данных создана геологическая модель структуры, расположенной на юге Пермского края, подготовленной к поисково-разведочному бурению сейсморазведкой МОГТ. В отличие от общепринятого подхода оценки ресурсов по эталонному объекту, в данной работе ресурсы углеводородов оценены объемным методом. Подсчетные параметры, такие как площадь залежи, эффективная нефтенасыщенная толщина, пористость и нефтенасыщенность пород обоснованы авторами для конкретной структуры с учетом особенностей геологического строения.

Ключевые слова: Пермский край, нефтегазоносность, оценка ресурсов, девонский терригенный комплекс, тиманский горизонт.

E.V. Gladkova¹, E.E. Kozhevnikova²
Perm State University, ¹shestakovaelisaveta@gmail.com,
²eekozhevnikova@bk.ru

ASSESSMENT OF HYDROCARBON RESOURCES PERM REGION ON THE BASIS OF ESTABLISHED REGULARITIES OF OIL AND GAS POTENTIAL OF THE DEVONIAN TERRIGENOUS COMPLEX

The work is devoted to the application of the revealed regularities of the geological structure and oil and gas content of the terrigenous Devonian of the Perm Region for solving practical problems of prospecting geology. On the basis of the obtained data, a geological model of the structure located in the south of the Perm Region, prepared for exploration drilling by the seismic survey of MOGT, was created. In contrast to the generally accepted approach of estimating resources based on a reference object, in this paper, hydrocarbon resources are estimated by the volumetric method. The calculated parameters, such as the area of the deposit, the effective oil-saturated thickness, porosity and oil saturation of the rocks, are justified by the authors for a specific structure, taking into account the features of the geological structure.

Key words: Perm Region, oil and gas potential, resource assessment, Devonian terrigenous complex, Timan horizon.

Восполнение ресурсной базы важный вопрос для региона, занимающегося добычей и переработкой углеводородов (УВ). Наиболее погруженным из всех нефтегазоносных комплексов Пермского края, но перспективным для открытия новых залежей является девонский терригенный нефтегазоносный комплекс. Более 30 месторождений с залежами в данном комплексе сосредоточены на юге

края, несмотря на это, при прогнозировании нефтегазоносности подготовленных структур результаты бурения не приносят ожидаемых ресурсов.

Терригенный девон характеризуется высокой литологической неоднородностью и резкими изменениями фильтрационно-емкостных свойств пород как по разрезу, так и по площади распространения. В связи с этим при оценке ресурсов данного комплекса возникает серьезная проблема выбора эталонного участка, параметры которого можно уверенно экстраполировать на выявленные структуры. Стоит отметить, что на юге Пермского края кроме открытых месторождений выделено более 20 лицензионных участков, как на поиски и оценку, так и на разработку месторождений УВ. Повышение достоверности оценки ресурсов актуальное и важное направление.

Геологическая модель исследуемой структуры

Обобщенные закономерности в геологическом строении и нефтегазоносности детально описанные в [2] применены для решения практической задачи, а именно для оценки ресурсов структуры, подготовленной к бурению.

Исследуемая структура подготовлена сейсморазведкой МОГТ к поисково-разведочному бурению еще в 1968 году с ресурсами 770 тыс. тонн, в том числе с ресурсами по девонскому терригенному комплексу 634 тыс. тонн. Структура выявлена в Куединском районе Пермского края, в тектоническом положении расположена в пределах Верхнекамской впадины (рис. 1).

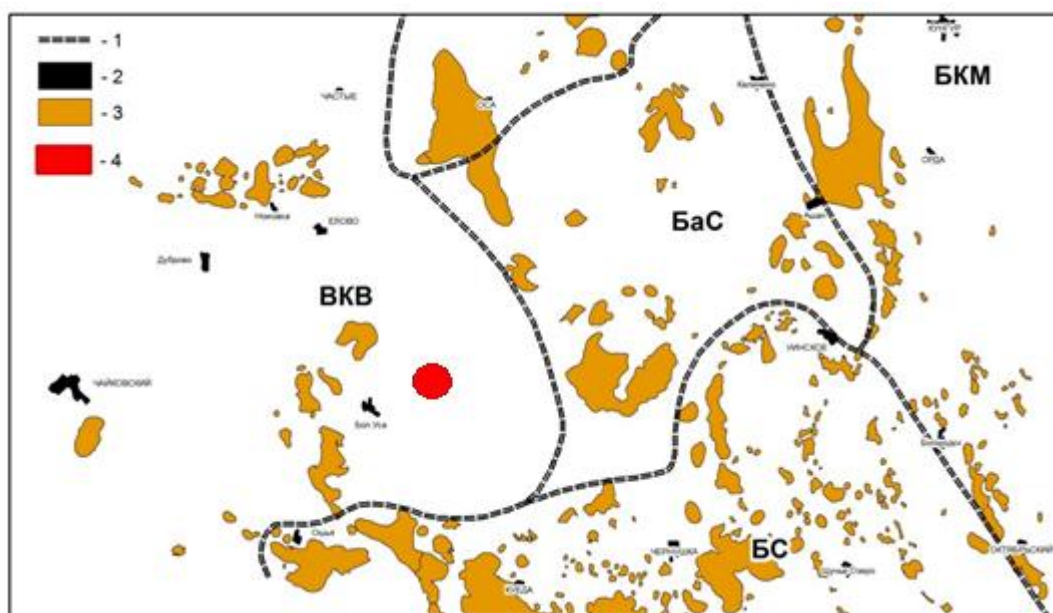


Рис. 1. Обзорная схема положения исследуемой структуры

Условные обозначения: 1 - границы крупных тектонических элементов: ВКВ - Верхнекамская впадина; БС - Башкирский свод, БаС - Бабкинская седловина, БКМ - Бымско-Кунгурская моноклираль; 2 - населенные пункты; 3 - месторождения УВ; 4 - исследуемая структура.

Район вблизи структуры детально изучен в работах А. П. Вилесова и др., где по детальному описанию керна и с применением сейсмических исследований при выделении сейсмофаций прослежено положение палеорусел в породах терригенного девона. Палеоруслы выделены в живетских, пашийских, тиманских отложениях и прослежено их положение по площади [1]. На основе работ А.П. Вилесова в тиманских отложениях на исследуемой структуре прогнозируется наличие палеоруслы, оно характеризуется мощными суммарными прослоями песчаников (до 11 м), а ширина изменяется в диапазоне от 0,7 до 1,0 км. В пашийских отложениях также по работам [1] прослежено положение палеоруслы в районе, но через исследуемую структуру оно не проходит. Песчаные прослои в пашийских отложений ожидаются не выдержанными по площади и маломощными, до 2 м.

С учетом закономерностей [1, 2] геологическая модель изучаемой структуры имеет следующий вид. Общая мощность пород терригенного девона составит около 65 м. Мощность живетских отложений до 25 м, ожидается, что через структуру проходит палеоруслы живетского времени, представленное песчаниками максимальной мощностью до 8 м, за пределами данного элемента преобладают аргиллиты и алевролиты. Мощность пашийских отложений до 8 м, ожидается преобладание пород, которые формировались в условиях дельтовых заливов, таких как аргиллиты и алевролиты, ожидаемая суммарная мощность песчаников не более 2 м. Мощность тиманских отложений до 32 м, через структуру проходит палеоруслы тиманского времени, ожидается полоса хорошо отсортированных песчаников шириной 0,7-1,0 км, мощностью до 11 м. Из-за гипсометрического положения и амплитуды структуры залежь нефти ожидается только в тиманских отложениях.

Обоснование параметров и оценка ресурсов

В данной работе авторами проведена оценка ресурсов объемным методом с применением параметров, полученных по геологической модели исследуемой структуры. Геологический разрез рассматриваемой структуры представлен тиманскими, пашийскими и живетскими породами. Кровля коллектора залегает на расстоянии 18–20 м от отражающего горизонта ОГ-III, приуроченного к кровле тиманского горизонта, ожидаемая максимальная мощность песчаников 11 м связана с зоной распространения палеоруслы. Пашийские породы имеют мощность до 8 м, представлены фациями дельтовых заливов, выдержанных мощных песчаных пластов не ожидается. В живетских отложениях, мощностью до 25 м, возможно наличие песчаных пластов мощностью не более 8 м в зоне распространения палеоруслы. С целью обоснования положения ВНК изучена информация по залежам в тиманских отложениях ближайших месторождений. Исходя из геологического строения (рис. 2) на исследуемой структуре залежь нефти ожидается только в тиманских отложениях с отметкой ВНК, равной – 1968 м, количество проницаемых прослоев 1–3.

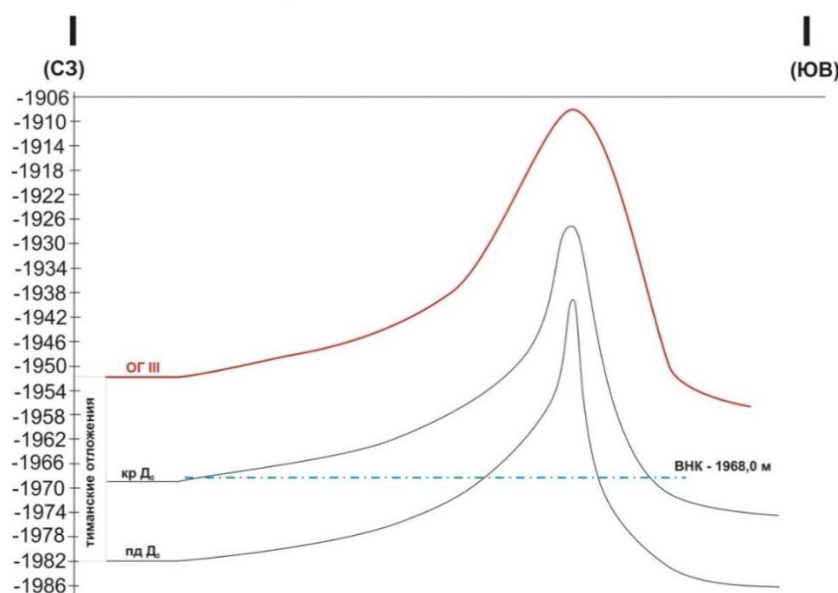


Рис. 2. Схематический геологический разрез исследуемой структуры
Условные обозначения: ОГ III – отражающий горизонт, приуроченный к кровле тиманских отложений; крД₀ – кровля коллектора пласта Д₀; пдД₀ – подошва коллектора пласта Д₀.

В отложениях пашийского и живетского возраста залежь нефти не ожидается из-за гипсометрического положения и литологических характеристик.

Одним из важных параметров, показывающих распространение положения нефтенасыщенного коллектора по залежи, является эффективная нефтенасыщенная толщина. От точности определения данного параметра зависит точность расчета объема нефтенасыщенной части ловушки. Для установления данного параметра на исследуемой структуре за основу взято значение средневзвешенной эффективной нефтенасыщенной толщины ($h_{\text{эфф.нн.ср.взв}}$) тиманской залежи близлежащего месторождения, равное 2,4 м. Средневзвешенная эффективная нефтенасыщенная толщина при подсчете запасов рассчитывается по площади, т.е. чем больше площадь залежи занимают повышенные мощности нефтенасыщенного коллектора, тем выше будет значение данного параметра. Так в работе проведена корректировка $h_{\text{эфф.нн.ср.взв}}$ через площадь палеорусла, которое характеризуется повышенной мощностью песчаников и проходящее через залежь. Зная, что $h_{\text{эфф.нн.ср.взв}}$ близлежащего месторождения тиманской залежи равна 2,4 м, а 17 % площади данной залежи приходится на палеорусло, получено значение $h_{\text{эфф.нн.ср.взв}}$ для исследуемой структуры. Все подсчетные параметры приведены в таблице 1.

Таблица 1. Оценка ресурсов нефти исследуемой структуры

S, тыс.м ²	h,м	V, тыс. м ³	K _п доли ед.	K _н доли ед.	K _{пер} доли ед.	ρ_n , г/см ³	Q _н , тыс.т	КИН, доли ед.	Q _{н изв} , тыс. т	r, м ³ /т	V _г , млн м ³	V _{г.изв} , млн м ³
9025	3.1	27977,5	0.16	0.8	0.925	0.898	2975	0.233	693	36.9	110	26

Авторами работы проведена оценка ресурсов нефти и растворенного газа объемным методом. Площадь нефтеносности S равна 9025 тыс. м², до 46 % залежи приходится на палеорусло, где ожидаются повышенные мощности нефтенасыщенных песчаников, с учетом этого, средневзвешенная эффективная

нефтенасыщенная толщина принята равной 3,1 м. Изменения, полученные при сравнении расчетов данной работы относительно расчетов, полученных с применением эталонного объекта представлены в таблице 2.

Таблица 2. Сопоставление рассчитанных данных и данных по ресурсам от 1968 г

	Qн, тыс. т	Qн.изв, тыс. т	Изменение, тыс. т	%	Vг, млн м ³	Vг.изв, млн м ³	Изменение, млн м ³	%
Расчетные данные	2975	693	219	8	110	26	-14	-11
1968	2756	634	-	-	124	28	-	-

Составленная геологическая модель структуры, кроме получения более точной информации о ресурсах, может применяться при выборе положения проектных скважин, так как в терригенном девоне из-за частого замещения коллекторов непроницаемыми породами часто встречаются неантиклинальные ловушки. С учетом этого факта важно проектировать скважины не просто в свод структуры, а учитывать информацию по сейсмофациальному анализу, который позволяет проследивать положение песчаных тел.

Заключение

В ходе выполнения работы авторами, на основе выявленных закономерностей в геологическом строении и нефтегазоносности терригенного девона, создана геологическая модель структуры, подготовленной к поисково-разведочному бурению, обоснованы положение отметки ВНК, отсутствие залежи в пашийских и живетских отложениях. В данной работе при оценке ресурсов УВ наиболее важные подсчетные параметры, такие как площадь залежи, эффективная нефтенасыщенная толщина, пористость и нефтенасыщенность пород, обоснованы для конкретной структуры с учетом особенностей геологического строения. Важно отметить, что составленная модель может применяться при выборе положения проектных скважин.

Изменение подхода для оценки ресурсов позволит более точно прогнозировать строение залежей, увеличить подтверждаемость ресурсов, снизить процент безрезультативных скважин, повысить эффективность поискового бурения.

Библиографический список

1. Вилесов А.П., Путилов И.С. Комплексное использование литолого-фациального анализа и сейсмофациального моделирования для изучения строения терригенной толщи девона // Нефтяное хозяйство. – 2009. - №4. – с. 23-27.
2. Карасёва Т. В. , Кожевникова Е. Е. Девонский терригенный нефтегазоносный комплекс южных районов Пермского края. Новые представления о геологическом строении и формировании нефтегазоносности: монография // Перм. гос. нац. исслед. ун-т. –Пермь, 2019. – 144 с.
3. Сташкова Э. К., Фрик М. Г., Арасланова Р. М., Багаев А. Н. Терригенный девон Пермского края. – Пермь: АО «КамНИИКИГС», 2015 г. – 140 с.
4. Кожевникова Е.Е. Геологическое строение и нефтегазоносность девонских терригенных отложений пермского края и прилегающих территорий // Вестник Пермского университета. Геология. 2017. Т. 16. № 4. С. 393-397.

ИСТОРИЯ ИЗУЧЕНИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ НА СЕВЕРЕ УРАЛО-ПОВОЛЖЬЯ В СВЯЗИ С ПЕРСПЕКТИВАМИ НОВЫХ ОТКРЫТИЙ НИЖЕ ОСВОЕННЫХ ГЛУБИН

Аннотация: В статье представлен обзор истории освоения осадочного чехла севера Урало-Поволжья по глубине и литолого-стратиграфическим комплексам с открытия первых залежей до настоящего времени. Предложен вариант разделения и отличия «отложений ниже освоенных глубин» и «больших глубин» на севере Урало-Поволжья. Проведена дифференциация НГО по мощности и возрасту промышленно освоенных глубин.

Ключевые слова: большие глубины, верхний протерозой, история освоения, параметрическое бурение, промышленно нефтегазоносный объект, Урало-Поволжье.

A.S. Kapitanova, T.V. Karaseva

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

²Perm Research University, tvkaras@psu.ru

THE HISTORY OF STUDYING DISTRIBUTION OF OIL AND GAS IN THE NORTH OF THE URAL-VOLGA REGION IN CONNECTION WITH PROSPECTS OF NEW DISCOVERIES BELOW DEVELOPED DEPTHS

Abstract: The article presents an overview of the history of development sedimentary cover on the north of the Volga-Ural region by depth and lithological-stratigraphic complexes from discovery of first deposits to present time. A variant of separation and difference between "deposits below developed depths" and "great depths" in the north of the Volga-Ural region is proposed. The differentiation of NGOs by the capacity and age of the industrially developed depths is carried out. Differentiation of oil and gas areas by thickness and age of industrially developed depths is performed.

Key words: great depths, upper proterozoic, history of development, parametric drilling, industrial oil and gas object, the Volga-Ural region.

Известно, что освоение нефтегазоносности в мировой практике начиналось с небольших глубин и в последующем сопровождалось все более глубоким бурением и часто открытием залежей на значительных глубинах. В настоящее время самые крупные открытия сделаны в США, в Мексиканском заливе на сверхглубинах (8,8-10,5 км) выявлена зона нефтегазонакопления в палеоген-неогеновых отложениях при глубине моря около 1080-2300 м, к этой зоне приурочены месторождения Каскида, Тайбер, Пони, Джулия, Нотти Хэд и др. [8, 10]. Бурение глубоких и сверхглубоких скважин является затратным процессом, вследствие этого к нему обычно обращаются, когда исчерпываются ресурсы в верхних горизонтах. В последнее время становятся актуальными

вопросы размещения нефтегазоносности в отложениях ниже освоенных и больших глубин на севере Урало-Поволжья.

Следует отметить, что понятия «отложения ниже освоенных глубин» и «отложения больших глубин» имеют различное значение. Термин «отложения больших глубин» считается в значительной степени условным и не позволяет точно определить пространственные границы предмета исследования. Так, в мире (Южно-Каспийский НГБ, НГБ Мексиканского залива, НГБ Сантос, Таримский НГБ и др.) отложения больших глубин залегают ниже 6-7 км, на севере Урало-Поволжья – ниже 3-4 км. По степени изученности и освоенности разреза нефтегазодобывающей промышленностью выделяется верхняя осадочная толща, включающая все НГК, в которых оценены ресурсы УВ, ведется добыча и отложения ниже освоенных промышленностью глубин (ОНОПГ). [4] Гипсометрическое положение кровли ОНОПГ в мире очень изменчиво, рассматривается конкретно для каждого региона и зависит от многих геологических и экономических факторов. Например, в Терско-Сунженской НГО на территории Республики Ингушетия глубина залегания кровли ОНОПГ не превышает 900 м [2]/ В районе месторождения сланцевого газа Игл Форд в Техасе кровля ОНОПГ залегает на глубинах более 4000 м [6, 9]. На севере Урало-Поволжья минимальная глубина залегания кровли ОНОПГ выделена в пределах Камского свода (около 1550 м), глубина освоенных пермско-среднекаменноугольных отложений в Западно-Уральской складчато-надвиговой зоне не превышает 1800 м, при этом мощность сильнодислоцированных осадочных толщ более 7500 м. Максимальные отметки кровли ОНОПГ (2300 м и более) выделены в Соликамской впадине, где разрабатываются турне-фаменские залежи.

В истории изучения и освоения осадочного разреза по глубине северных районов Урало-Поволжья можно выделить 4 основных этапа. Первый этап (1929-1937 г.) начался с развития нефтяной промышленности в регионе, глубина первых промышленных притоков нефти (Верхнечусовское, Краснокамское м-е) из нижнепермских отложений не превышала 400 м [7] Второй этап освоения осадочного разреза начался в 1937-1938 г с открытия Северокамского месторождения. [5] В этот период (1953 г) была пробурена Глазовская опорная скважина, вскрывшая впервые на севере Урало-Поволжья весь осадочный разрез. Во время третьего этапа (1950-1995 г) благодаря активному изучению строения верхнедевонско-турнейского палеошельфа были значительно расширены ранее существовавшие представления о геологии севера Урало-Поволжья, открыты и введены в разработку многие месторождения в диапазоне глубин 1600-2400 м. [1] После открытия крупных месторождений нефти и газа в рифее-венде Восточной Сибири (1962-1980-е г.) многие геофизические, геохимические исследования, бурение на севере Урало-Поволжья были направлены на изучение протерозойских отложений в Камско-Бельском авлакогене, пробурены скважины глубиной более 4 км: Сарапульская 1П, Бедряжская 203, Ножовская 92, Азинско-Пальниковская 133, Очерская 14 и др. В конце III этапа сторонники неорганической теории происхождения нефти активно, но безуспешно, изучали нефтегазоносность выступов фундамента. В

западной части Удмуртской Республики и Пермского края одним из направлений работ было изучение перспектив нефтегазоносности в уже известных НГК, при этом для многих скважин в качестве проектного горизонта был выбран кристаллический фундамент.

На последующем этапе (1995-н.в) наблюдается резкое снижение объемов геологоразведочных работ, в том числе глубокого опорно-параметрического бурения. Перспективным районом для поиска УВ становится Западно-Уральская складчато-надвиговая зона. В последние годы в этой зоне была пробурена Аракаевская параметрическая скважина глубиной 5207 м.

Изучение «больших глубин» (более 3 км) на севере Урало-Поволжья в большей степени связано с поиском УВ в глубокопогруженных додевонских отложениях Камско-Бельского авлакогена, в девонско-каменноугольных толщах Предуральского прогиба и Передовых складок Урала. По результатам бурения скважины Сарапульской 1П глубиной 5503 м (1991 г) был выделен стратотип сарапульской свиты нижнего рифея, в которой на глубине более 4100 м получен газ преимущественно метанового состава (CH_4 – 54,5 %), слабые газопроявления в процессе бурения на глубине более 3000 м получены из арланской подсвиты калтасинской свиты нижнего рифея в скважине Ижевской 20. Помимо этого, на «больших глубинах» по керну зафиксированы многочисленные нефтепроявления и битуминозность отложений калтасинской свиты и прикамской подсерии нижнего рифея в пределах Бедряжской, Очерской, Гаринской и др. площадей. В кыквинской свите венда нефтепроявления обнаружены на глубине более 3000 м на Верещагинской и Соколовской площадях. Первый приток тяжелой ($0,966 \text{ г/см}^3$), высоковязкой ($139,1 \text{ мПа}\cdot\text{с}$) протерозойской нефти на севере Урало-Поволжья был получен 1986 г. на Ефремовском месторождении из верещагинской свиты верхнего венда (2586-2591 м), дебит составлял $3,6 \text{ м}^3/\text{сут}$. Несколько позднее на глубине более 2500 м была открыта нефтяная залежь в венде на Тыловайском месторождении в Удмуртской Республике [3].

Палеозойские отложения на «больших глубинах» изучались в 1973-1974 г в Юрюзано-Сылвенской впадине во время разведки на Бухаровском поднятии. Поисковыми скважинами № 132 (3651 м), № 135 (3653 м) были вскрыты отложения турнейского яруса, параметрической скважиной № 10 (4166 м) – средний рифей. В настоящее время геологоразведочные работы на больших глубинах практически не ведутся. Нефтегазобитумопроявления на глубинах ниже 4 км в значительном количестве выявлены в различных регионах (рис. 1).

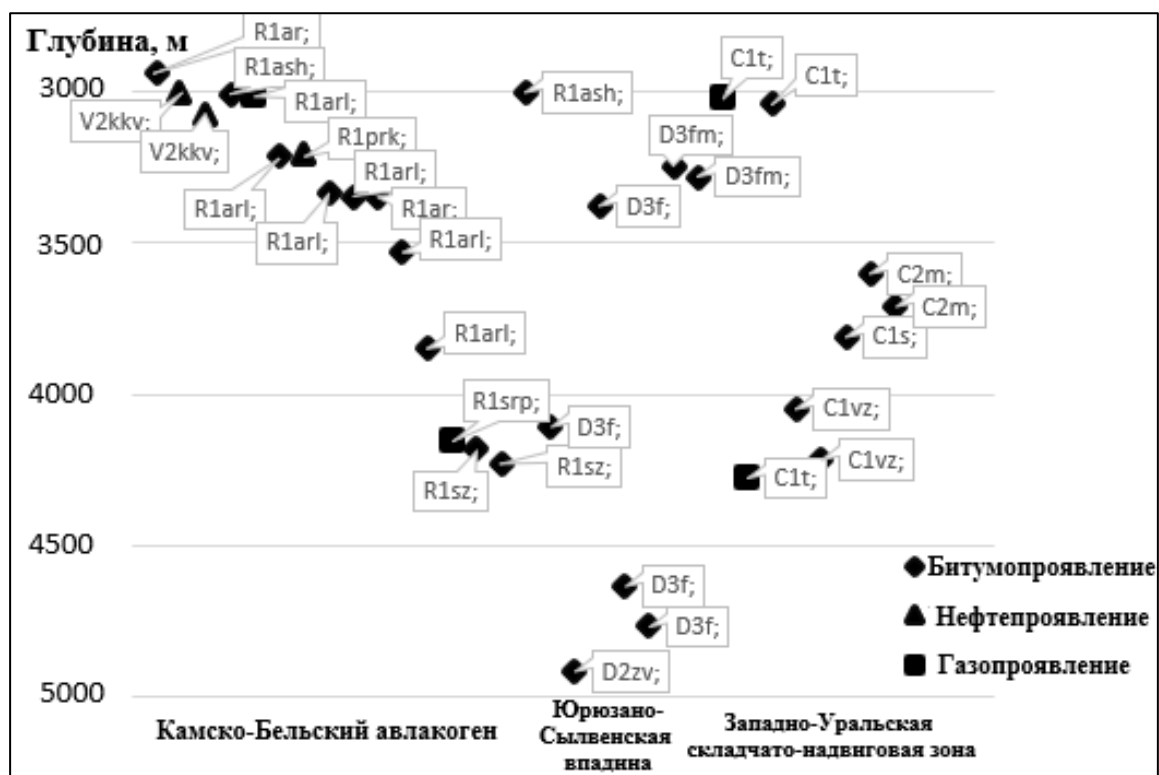


Рис. 1. Схема распределения признаков нефтегазоносности на «больших глубинах» севера Урало-Поволжья по стратиграфическим подразделениям

Нижняя граница освоенных глубин на севере Урало-Поволжья зависит от тектонического и нефтегазогеологического районирования, но в основном отвечает залеганию нижнего промышленно нефтегазоносного объекта в девонских терригенных или карбонатных отложениях. Большой вклад в увеличение этажа нефтегазоносности по стратиграфии и глубине сделан в Вятско-Висимском НГР, где открыто Тыловайское месторождение в венде и подсчитаны запасы нефти на глубине более 2500 м. Минимальная глубина залегания промышленно освоенных глубин (не более 1550 м) относится к Камской НГО, верхнедевонским отложениям. В целом на севере Урало-Поволжья стратиграфический диапазон промышленно освоенных глубин изменяется от перми до среднего девона.

Различные глубины залегания фундамента и НГК, а также степень освоения НГК севера Урало-Поволжья позволяют выделить по мощности и возрасту промышленно освоенных глубин следующие НГО:

- Среднепредуральская НГО, характеризующаяся максимальной промышленно освоенной мощностью осадочного чехла (около 2900 м), но относительно узким изученным стратиграфическим интервалом (D_3^{fr} -P), глубина фундамента до 5800 м;
- Верхнекамская и Пермско-Башкирская НГО, где глубокие залежи открыты на глубинах до 2500 м, а стратиграфический диапазон изменяется от среднего-верхнего девона до перми при глубине фундамента до 12000-14000 м;
- Камская, Ракшинско-Висимская, Северо-Татарская НГО, отличающиеся наименьшей глубиной залегания поверхности кристаллического фундамента,

наименьшей промышленно освоенной мощностью осадочного чехла, изученным стратиграфическим интервалом – D-P.

Таким образом, проведенное исследование показывает, что на севере Урало-Поволжья пока слабо изученные осадочные отложения ниже освоенных глубин во многих регионах могут представлять значительный интерес для проведения геологоразведочных работ на нефть и газ. С точки зрения изучения больших глубин интересны участки в Верхнекамской и Пермско-Башкирской НГО, где развиты мощные рифейско-вендские толщи, а также в НГО внутреннего складчатого борта Предуральяского прогиба, где на больших глубинах залегают девонско-каменноугольные осадочные отложения автохтонного структурного этажа.

Библиографический список

1. *Абрикосов И.Х.* Результаты геологоразведочных работ на нефть и газ в 1960 г и направление их на 1961-1965 гг в Пермской области // Геология нефти и газа, 1961, №8, с.5-11.
2. *Казанкова Э.Р., Корнилова Н.Р.* Особенности размещения крупных нефтяных месторождений на территории Северо-Кавказской нефтегазоносной провинции (с позиции нелинейной геодинамики) // Актуальные проблемы нефти и газа, вып. №3, 2018., с.9.
3. *Капитанова А.С.* Нефтегазоносность отложений ниже освоенных глубин северной части Урало-Поволжья // Материалы XI Всероссийской научно-технической конференции «Проблемы разработки месторождений углеводородных и рудных полезных ископаемых», №1, ПНИПУ, 2018, с.34-37.
4. *Карасева Т.В.* Закономерности нефтегазообразования в осадочно-породных бассейнах различных тектонодинамических типов // Сб.науч.докл. «Критерии оценки нефтегазоносности ниже промышленно освоенных глубин и определение приоритетных направлений геологоразведочных работ», Пермь, КамНИИКИГС, 2001, 405 с.
5. *Ливиц А.М.* К истории развития нефтяной промышленности Пермского Прикамья // Геология и разведка нефти и газа Пермского Приуралья (Матер. совещ. 19-22 мая 1970 г.) Пермь: Пермское книжное изд-во, 1971. – С. 191-204.
6. *Юрова М.П.* Особенности разработки сланцевых углеводородов США (на примере формации Баккен, Игл Форд, Барнетт, Хайнесвилл, Файеттевилл, Марцеллус) // Георесурсы, №1, 2016, с.38-45.
7. *Щербина В.Д.* Некоторые данные о геологическом строении Добрянского разведочного района// Геология нефти и газа, 1963, №6, с.21-27.
8. *Galloway W.E, Ganey-Curry P.E, Xiang Li, Buffler R.T.* Cenozoic depositional history of the Gulf of Mexico basin // Datapages Combined Publications Database. AAPG Bulletin v. 84, №11, 2000, pp. 1743–1774.
9. *U.S. Energy Information Administration (EIA).* Report: Updates to the EIA Eagle Ford Play Maps / Department of Energy Washington, DC 20585, 2014, p.10.
10. *Petzed A.* BP's Tiber one of industry's deepest wells / Oil & Gas Journal, BP PLC, Houston, 2009.
11. *Кожевникова Е.Е.* Геологическое строение и нефтегазоносность девонских терригенных отложений пермского края и прилегающих территорий // Вестник Пермского университета. Геология. 2017. Т. 16. № 4. С. 393-397.
12. *Ибламинов Р. Г.* Минерагеодинамика нефтегазоносных бассейнов // Вестник Пермского университета. Геология. – 2007. – №. 4. – С.8-25.

ИНФОРМАЦИОННО-ПОИСКОВАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ПОЗДНЕПАЛЕОЗОЙСКИХ МШАНОК (BRYOZOA)

Информация о родах и видах позднепалеозойских мшанок, известная из разноязычной монографической литературы и материалов научно-исследовательской работы автора в лаборатории стратиграфии объединения «Пермнефть» и на кафедре региональной и нефтегазовой геологии Пермского университета, систематизирована и собрана в специальной информационно-поисковой системе на ручных перфокартах и магнитных носителях. Проектирование и эксплуатация ИПС «Bryozoa» основана на последовательном применении десяти принципов академика Виктора Михайловича Глушкова, положенных в основу системной методологии сбора и изучения сведений о морфологии и классификации ископаемых мшанок.

Ключевые слова. Палеонтология, беспозвоночные, мшанки, Bryozoa, классификация, перфокарты, кодирование признаков, сканирование, компьютерные технологии, В.М. Глушков, информационно-поисковая система.

V. P. Ozhgibesov
Perm State University, Ozhgibesov@psu.ru

THE INFORMATION RETRIEVAL SYSTEM FOR STUDYING LATE PALEOZOIC BRYOZOA

Information on species and types late Paleozoic a Bryozoa, known of multilingual monographic literature and materials of research work of the author in laboratory of stratigraphy of the «Permneft» company and at department of regional and oil and gas geology of the Perm State University is systematized and collected in the special information retrieval system on manual cards and magnetic data carriers of the computer. Design and operation of the information retrieval system of «Bryozoa» it is based on consecutive application of ten principles of the academician V. M. Glushkov which are been the basis for system methodology of collecting and studying of data on morphology and classification of Late Paleozoic Bryozoa.

Key words. Paleontology, invertebrates, Bryozoa, classification, cards, coding of signs, scanning, computer's technologies, V. M. Glushkov, information retrieval system.

При составлении системы картотек палеозойских мшанок учитывались ранее разработанные академиком В.М. Глушковым методологические требования проектирования информационно-поисковых систем [2, 3, 4]. Эти требования к ИПС объединяют десять принципов: принцип конечной цели, предварительной обработки информации, типовости, доступности первичной информации, автоматизации, экономичности, системности, единства, автономности и принцип развития [2, 6]. На основе этих принципов составлена единая система картотек, которая объединяет картотеки справочника-определителя и картотеки фактического материала (рис. 1). Сканирование перфокарт позволяет сохранить массивы информации на магнитных носителях информации и использовать их на основе компьютерных технологий. Применение компьютера расширяет

возможности применения ИПС, но картотеки позволяют использовать технологии сравнительного анализа, которые позволяют получить дополнительный эффект, например при составлении рядов из нескольких десятков перфокарт, ранжированных по разным признакам.

На рис. 1 показан состав единой системы картотек, её структура и связь с машинными носителями информации.

На рис. 2, 3, 4, 5, 6 показаны варианты изображения внутреннего поля перфокарт и кодовые карты для нескольких наиболее распространённых носителей информации, а также систем кодирования и декодирования информации.

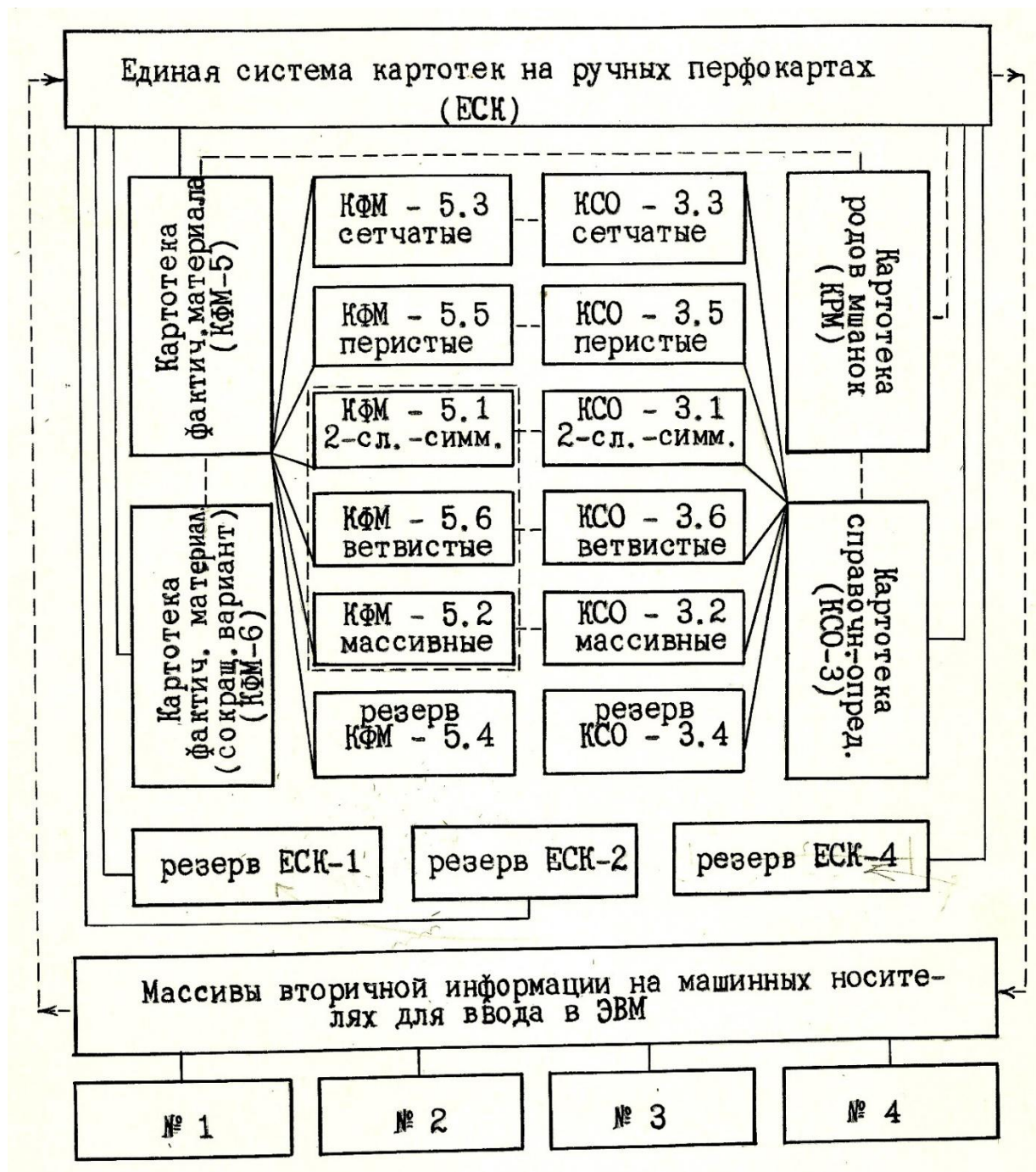


Рис. 1. Структура единой системы перфокартотек и её связь с машинными носителями информации на магнитных носителях

Рис. 2. Внешний вид внутреннего поля перфокарты для информации о родах и видах справочника-определителя

ГОРИЗОНТ		ЯРУС		Р-Н		ТЕКТ. ЭЛЕМЕНТ	
А	Б	А	Б	А	Б	А	Б
В	Г	В	Г	В	Г	В	Г
Д	Е	Д	Е	Д	Е	Д	Е
Ж	З	Ж	З	Ж	З	Ж	З
И	Й	И	Й	И	Й	И	Й
К	Л	К	Л	К	Л	К	Л
М	Н	М	Н	М	Н	М	Н
О	П	О	П	О	П	О	П
Р	С	Р	С	Р	С	Р	С
Т	У	Т	У	Т	У	Т	У
Ф	Х	Ф	Х	Ф	Х	Ф	Х
Ц	Ч	Ц	Ч	Ц	Ч	Ц	Ч
Ш	Щ	Ш	Щ	Ш	Щ	Ш	Щ
Ъ	Ы	Ъ	Ы	Ъ	Ы	Ъ	Ы
Ь	Э	Ь	Э	Ь	Э	Ь	Э
Ю	Я	Ю	Я	Ю	Я	Ю	Я
0	1	0	1	0	1	0	1
2	3	2	3	2	3	2	3
4	5	4	5	4	5	4	5
6	7	6	7	6	7	6	7
8	9	8	9	8	9	8	9
10	11	10	11	10	11	10	11
12	13	12	13	12	13	12	13
14	15	14	15	14	15	14	15
16	17	16	17	16	17	16	17
18	19	18	19	18	19	18	19
20	21	20	21	20	21	20	21
22	23	22	23	22	23	22	23
24	25	24	25	24	25	24	25
26	27	26	27	26	27	26	27
28	29	28	29	28	29	28	29
30	31	30	31	30	31	30	31
32	33	32	33	32	33	32	33
34	35	34	35	34	35	34	35
36	37	36	37	36	37	36	37
38	39	38	39	38	39	38	39
40	41	40	41	40	41	40	41
42	43	42	43	42	43	42	43
44	45	44	45	44	45	44	45
46	47	46	47	46	47	46	47
48	49	48	49	48	49	48	49
50	51	50	51	50	51	50	51
52	53	52	53	52	53	52	53
54	55	54	55	54	55	54	55
56	57	56	57	56	57	56	57
58	59	58	59	58	59	58	59
60	61	60	61	60	61	60	61
62	63	62	63	62	63	62	63
64	65	64	65	64	65	64	65
66	67	66	67	66	67	66	67
68	69	68	69	68	69	68	69
70	71	70	71	70	71	70	71
72	73	72	73	72	73	72	73
74	75	74	75	74	75	74	75
76	77	76	77	76	77	76	77
78	79	78	79	78	79	78	79
80	81	80	81	80	81	80	81
82	83	82	83	82	83	82	83
84	85	84	85	84	85	84	85
86	87	86	87	86	87	86	87
88	89	88	89	88	89	88	89
90	91	90	91	90	91	90	91
92	93	92	93	92	93	92	93
94	95	94	95	94	95	94	95
96	97	96	97	96	97	96	97
98	99	98	99	98	99	98	99
100	101	100	101	100	101	100	101
102	103	102	103	102	103	102	103
104	105	104	105	104	105	104	105
106	107	106	107	106	107	106	107
108	109	108	109	108	109	108	109
110	111	110	111	110	111	110	111
112	113	112	113	112	113	112	113
114	115	114	115	114	115	114	115
116	117	116	117	116	117	116	117
118	119	118	119	118	119	118	119
120	121	120	121	120	121	120	121
122	123	122	123	122	123	122	123
124	125	124	125	124	125	124	125
126	127	126	127	126	127	126	127
128	129	128	129	128	129	128	129
130	131	130	131	130	131	130	131
132	133	132	133	132	133	132	133
134	135	134	135	134	135	134	135
136	137	136	137	136	137	136	137
138	139	138	139	138	139	138	139
140	141	140	141	140	141	140	141
142	143	142	143	142	143	142	143
144	145	144	145	144	145	144	145
146	147	146	147	146	147	146	147
148	149	148	149	148	149	148	149
150	151	150	151	150	151	150	151
152	153	152	153	152	153	152	153
154	155	154	155	154	155	154	155
156	157	156	157	156	157	156	157
158	159	158	159	158	159	158	159
160	161	160	161	160	161	160	161
162	163	162	163	162	163	162	163
164	165	164	165	164	165	164	165
166	167	166	167	166	167	166	167
168	169	168	169	168	169	168	169
170	171	170	171	170	171	170	171
172	173	172	173	172	173	172	173
174	175	174	175	174	175	174	175
176	177	176	177	176	177	176	177
178	179	178	179	178	179	178	179
180	181	180	181	180	181	180	181
182	183	182	183	182	183	182	183
184	185	184	185	184	185	184	185
186	187	186	187	186	187	186	187
188	189	188	189	188	189	188	189
190	191	190	191	190	191	190	191
192	193	192	193	192	193	192	193
194	195	194	195	194	195	194	195
196	197	196	197	196	197	196	197
198	199	198	199	198	199	198	199
200	201	200	201	200	201	200	201
202	203	202	203	202	203	202	203
204	205	204	205	204	205	204	205
206	207	206	207	206	207	206	207
208	209	208	209	208	209	208	209
210	211	210	211	210	211	210	211
212	213	212	213	212	213	212	213
214	215	214	215	214	215	214	215
216	217	216	217	216	217	216	217
218	219	218	219	218	219	218	219
220	221	220	221	220	221	220	221
222	223	222	223	222	223	222	223
224	225	224	225	224	225	224	225
226	227	226	227	226	227	226	227
228	229	228	229	228	229	228	229
230	231	230	231	230	231	230	231
232	233	232	233	232	233	232	233
234	235	234	235	234	235	234	235
236	237	236	237	236	237	236	237
238	239	238	239	238	239	238	239
240	241	240	241	240	241	240	241
242	243	242	243	242	243	242	243
244	245	244	245	244	245	244	245
246	247	246	247	246	247	246	247
248	249	248	249	248	249	248	249
250	251	250	251	250	251	250	251
252	253	252	253	252	253	252	253
254	255	254	255	254	255	254	255
256	257	256	257	256	257	256	257
258	259	258	259	258	259	258	259
260	261	260	261	260	261	260	261
262	263	262	263	262	263	262	263
264	265	264	265	264	265	264	265
266	267	266	267	266	267	266	267
268	269	268	269	268	269	268	269
270	271	270	271	270	271	270	271
272	273	272	273	272	273	272	273
274	275	274	275	274	275	274	275
276	277	276	277	276	277	276	277
278	279	278	279	278	279	278	279
280	281	280	281	280	281	280	281
282	283	282	283	282	283	282	283
284	285	284	285	284	285	284	285
286	287	286	287	286	287	286	287
288	289	288	289	288	289	288	289
290	291	290	291	290	291	290	291
292	293	292	293	292	293	292	293
294	295	294	295	294	295	294	295
296	297	296	297	296	297	296	297
298	299	298	299	298	299	298	299
300	301	300	301	300	301	300	301
302	303	302	303	302	303	302	303
304	305	304	305	304	305	304	305
306	307	306	307	306	307	306	307
308	309	308	309	308	309	308	309
310	311	310	311	310	311	310	311
312	313	312	313	312	313	312	313

[illegible]

Рис. 6. Кодовая карта для перфокарт картотеки справочника фактического материала

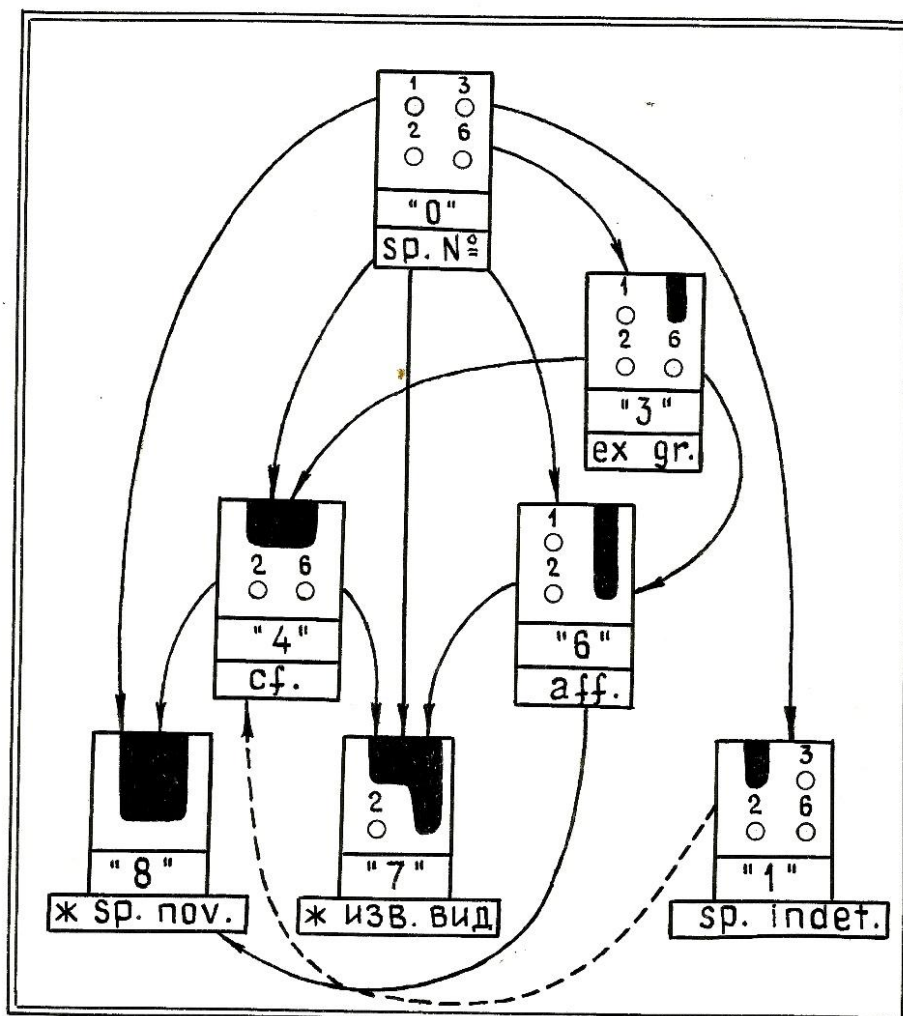


Рис. 7. Схема кодирования признаков открытой номенклатуры для перфокарт картотеки справочника-определителя

1	2	3	4	5	6	7	порядковые номера признаков
							комбинации вырезов с соответствую- щими им формами зооэциев
4-уг.	4-5 уг.	5-уг.	3-5 уг.	3-уг.	3-уг.- трап.	трап.	код в ключе "ряд степеней цифры четыре"
"2"	"3"	"1"	"5"	"4"	"12"	"8"	

Рис. 8. Схема кодирования признаков формы сечения зооэциев фенестеллид

Единая система перфокартотек обеспечивает возможность сохранения и использования первичной информации из справочника-определителя и картотеки фактического материала. Все данные переводятся в цифровую форму хранения информации на жёстких дисках компьютера и могут использоваться для решения различных геолого-палеонтологических задач.

Библиографический список

1. *Ванчуров И.А.* Числовое кодирование палеонтологической информации. – В. кн.: Математические методы исследования в геологии. ВИЭМС, 1975. С. 24 – 43.
2. *Глушков В.М.* Основные принципы построения автоматизированных систем управления. – В кн. Кибернетика и вычислительная техника. – Киев: Наукова думка, 1971, С. 5 – 19.
3. *Глушков В.М.* Основы безбумажной информатики. М.: Наука, 1987. – 552 с.
4. *Глушков В.М., Стогний А.А., Афанасьев В.Н.* Автоматизированные информационные системы. – М.: Знание, 1973. – 64 с.
5. *Гусельников И.И., Турпутько А.Ф.* Перфокарты с краевой перфорацией. М.: Высшая школа, 1974. – 237 с.
6. *Ожгибесов В.П.* Общие принципы составления информационно-поисковых систем для изучения ископаемых мшанок. – Перм. ун-т, Пермь, 1980. – 6с. Рукопись представлена Перм. ун-том. Деп. ВИНТИ 8 июля 1980. № 2864-80.

ГЕОФИЗИКА, ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ

С.Г. Бычков^{1,2}, А.А.Симанов¹, В.В.Хохлова¹

¹Горный институт УрО РАН, г.Пермь, bsg@mi-perm.ru

²ПГНИУ, bsg@mi-perm.ru

РЕЗУЛЬТАТЫ МОНИТОРИНГОВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ НА ГРАВИМЕТРИЧЕСКОМ ПОЛИГОНЕ В Г. БЕРЕЗНИКИ

Представлены результаты пятилетних (2016-2020 гг.) гравиметрических исследований на полигоне, организованном в г. Березники Пермского края. Полигон состоит из 102 пунктов, работы на котором выполняются гравиметрами AUTOGRAV CG-5. В каждом цикле измерений определяются не только значения силы тяжести, но и фиксируются изменения высот пунктов. По результатам гравиметрических наблюдений сделаны выводы о состоянии породного массива над затопленными шахтными полями, наличии разуплотненных зон и прослежено их изменения во времени и в пространстве. Разработанная технология проведения, обработки и интерпретации динамических аномалий силы тяжести позволяет повысить безопасность эксплуатации Верхнекамского месторождения.

: гравиразведка, мониторинг, безопасность горных работ.

S.G.Bychkov^{1,2}, A.A.Simanov¹, V.V.Khokhlova¹

¹Mining Institute of the UB RAS, Perm, bsg@mi-perm.ru

²Perm State University

RESULTS OF MONITORING OBSERVATIONS ON A GRAVIMETRIC TESTING AREA IN BEREZNIKI

The results of five-year (2016-2020) gravimetric studies at the test site organized in the city of Berezniki, Perm Territory are presented. The testing area consists of 102 points, the work on which is performed by AUTOGRAV CG-5 gravimeters. In each cycle of measurements, not only the values of the gravity are determined, but also the changes in the heights of the points are recorded. Based on the results of gravimetric observations, conclusions were drawn about the state of the rock mass above the flooded mine fields, the presence of decompacted zones, and their changes in time and space were traced. The developed technology for conducting, processing and interpreting dynamic anomalies of gravity makes it possible to increase the operational safety of the Verkhnekamskoye field.

Key words: gravity exploration, monitoring, mining safety.

С целью разработки технологии проведения, обработки и интерпретации мониторинговых гравиметрических наблюдений в 2016 г. над затопленными шахтными полями на территории г. Березники был создан гравиметрический полигон (рис. 1), состоящий из 102 пунктов.



Рис. 1. Расположение гравиметрического полигона на карте г. Березники (черными точками показаны пункты гравиметрических наблюдений и их номера)

Мониторинговые наблюдения поля силы тяжести выявляют динамику процессов деформации породных масс и позволяют осуществить прогноз опасных и катастрофических ситуаций. По результатам повторных наблюдений рассчитывается динамическая аномалия силы тяжести, определяемая как разность между последующими и предыдущими значениями силы тяжести. Особенностью подобных аномалий является их независимость от влияния рельефа земной поверхности, стационарных (неизменных) плотностных неоднородностей в массиве, обусловленных геологическим строением. Поскольку все неизменные составляющие гравитационного поля в равной степени присутствуют в любой паре наблюдений, динамическая аномалия отражает только конкретный горно-технический или быстротекущий геологический процесс. По результатам гравиметрических наблюдений можно делать выводы о состоянии породного мас-

сива над затопленными шахтными полями, наличии разуплотненных зон и прослеживать их изменения во времени и в пространстве. Результаты интерпретации динамических аномалий силы тяжести позволяют повысить безопасность эксплуатации Верхнекамского месторождения [1, 2, 3].

Работы на полигоне выполнялись ежегодно на закрепленных металлических знаках (дюбелях, забитых в асфальт) гравиметрами AUTOGRAV CG-5. В каждом цикле измерений определялись не только значения силы тяжести, но и фиксировались изменения высот пунктов. Планово-высотная привязка гравиметрических пунктов осуществлялась с использованием GNSS-приемника Trimble R-8.

Во всех циклах наблюдений сравнивались между собой аномалии в редукции Буге, т.е. учитывалось изменение высоты гравиметрических пунктов. Результаты пятилетних гравиметрических наблюдений на полигоне представлены на рис. 2 и 3.

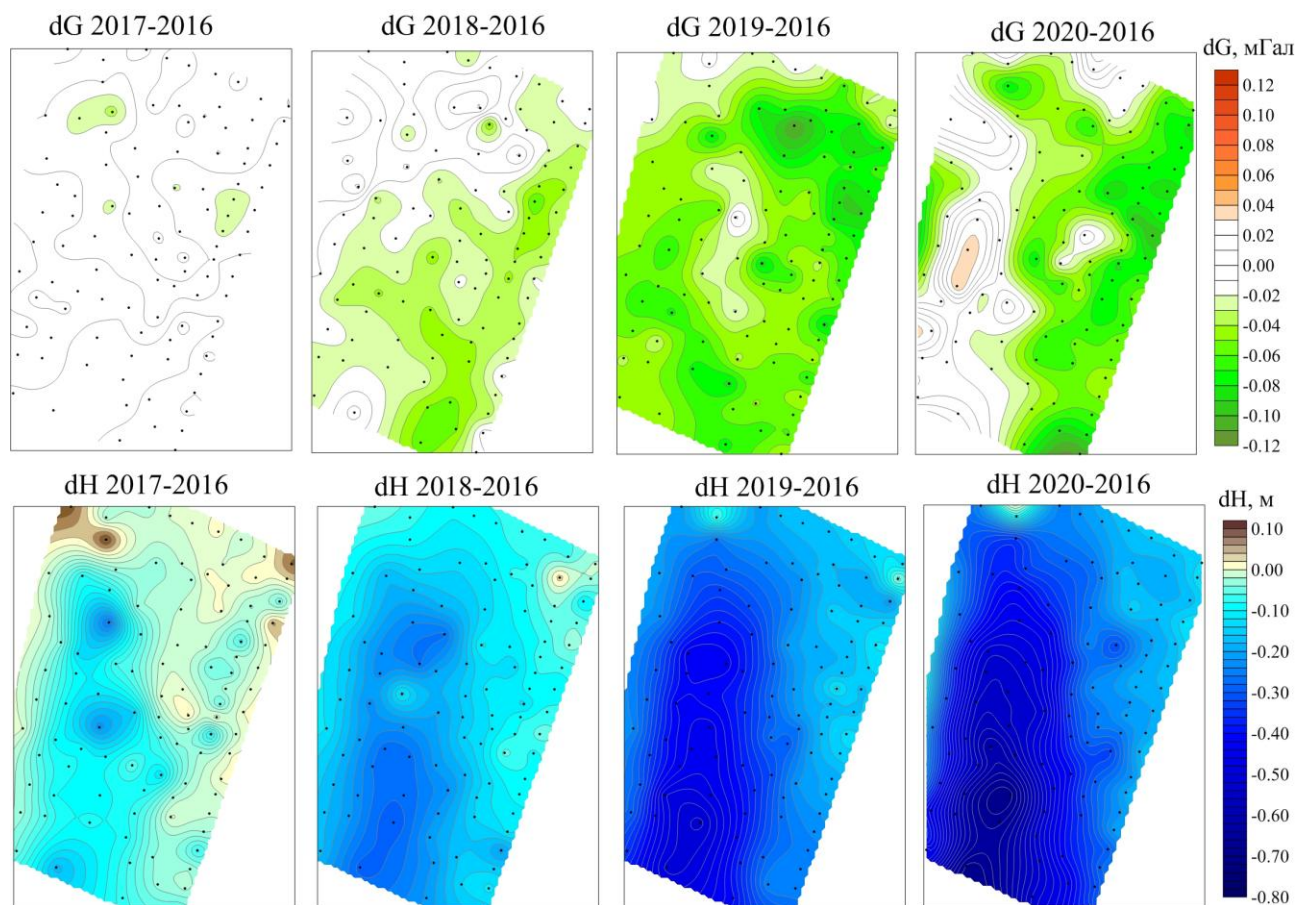


Рис. 2. Динамические аномалии силы тяжести и высоты гравиметрических пунктов относительно 2016 г. (цифрами на картах показан период в годах)

Анализируя изменения гравитационного поля и высот гравиметрических пунктов относительно измерений, выполненных в 2016 г. (рис. 2), прежде всего, следует отметить, что амплитуда, размеры и местоположение динамических аномалий существенным образом меняются в различных циклах мониторинга. Можно констатировать увеличение скорости изменения силы тяжести: если в период 2016-2017 гг. амплитуда отрицательной аномалий составляла -0.05

мГал, то к 2019-2020 гг. амплитуда увеличилась до -0.10 мГал. Ранее проведенная количественная интерпретация динамических аномалий [2] показала, что источник изменения поля находится на глубине порядка 20-40 м. Увеличение амплитуды динамической аномалии свидетельствует об ускорении процесса разуплотнения пород надсоляной толщи, расположенной над затопленными шахтными полями. При этом весьма интенсивно происходят оседания земной поверхности до 80 см за четыре года. Изменение формы и амплитуды динамических аномалий во времени и в пространстве, по нашему мнению, связано с процессом непрерывного оседания земной поверхности.

В 2020 г. интенсивность отрицательных динамических аномалий силы тяжести уменьшилась. Более наглядно это иллюстрируют карты ежегодных изменения поля и высот пунктов (рис 3).

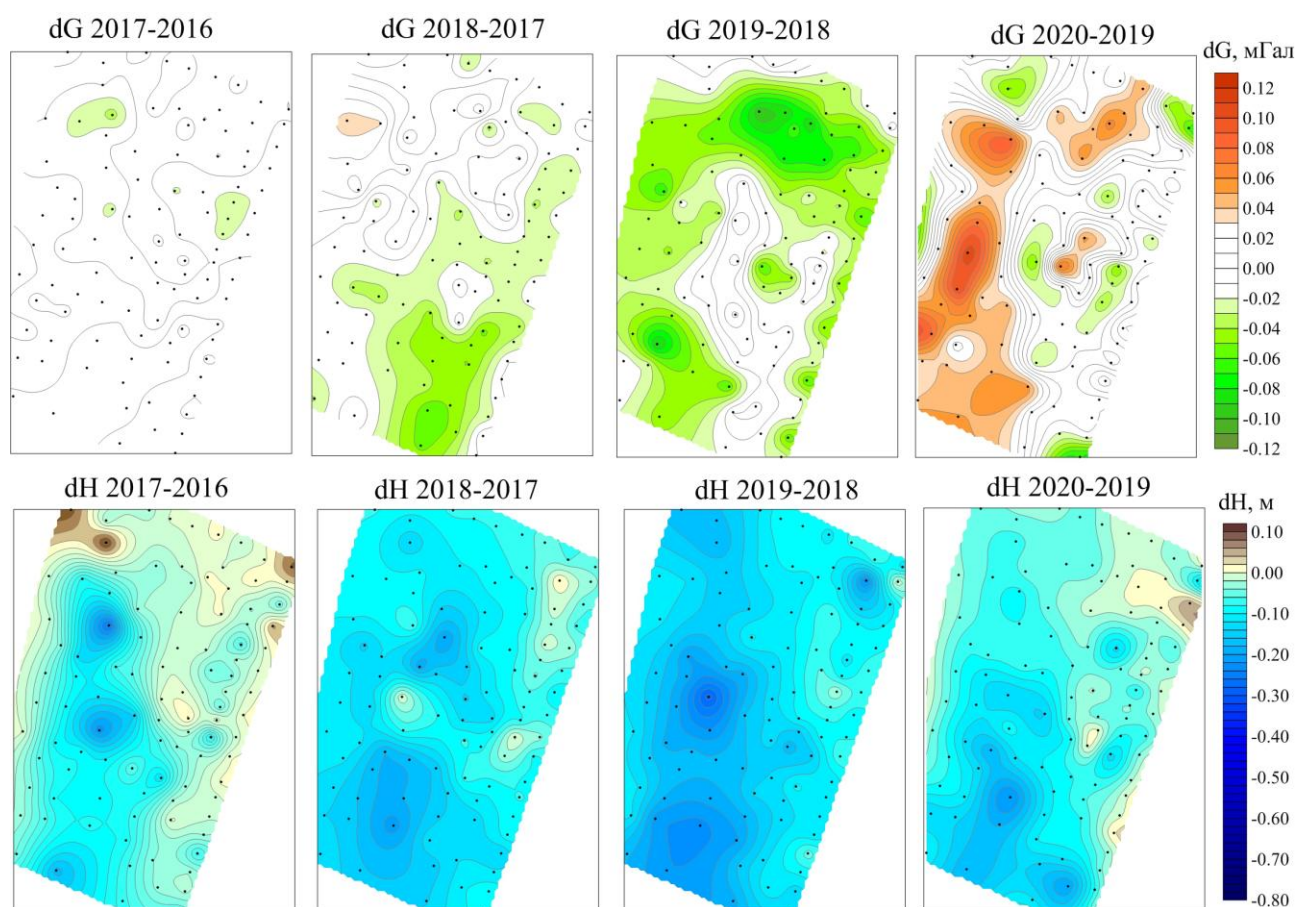


Рис. 3. Ежегодные изменения аномалий силы тяжести и высот пунктов (цифрами на картах показан период в годах)

В период 2019-2020 гг. произошла инверсия знака динамических аномалий. В юго-западной части площади, где за период 2018-2019 гг. происходили наибольшие оседания земной поверхности, отрицательные динамические аномалии сменились положительными. По нашему мнению, участки повышенных оседаний, сопровождаемые увеличением величины динамической аномалии, объясняется компенсацией значений аномалий увеличением плотности пород, обусловленной оседанием. Например, в 2018 г. наиболее интенсивные динамические аномалии силы тяжести проявлялись на юге участка, в 2018-2019 гг.

здесь произошли повышенные оседания земной поверхности, что подтвердило сделанный нами ранее [3] прогноз оседаний. Одновременно с оседанием в этой части участка произошло «затухание» динамической аномалии. За период 2019-2020 гг. произошла инверсия динамических аномалий, что свидетельствует о прекращении процесса разуплотнения пород или начале нового цикла «разуплотнение – оседание».

По результатам гравиметрических наблюдений можно делать выводы о состоянии породного массива над затопленными шахтными полями, наличии разуплотненных зон и прослежено их изменения во времени и в пространстве. Разработанная на полигоне технология проведения, обработки и интерпретации динамических аномалий силы тяжести позволяет повысить безопасность эксплуатации Верхнекамского месторождения.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 19-45-59001/p_a).

Библиографический список

1. Бычков С.Г., Простолупов Г.В., Симанов А.А., Щербинина Г.П. Гравиметрические исследования аварийных участков рудников Верхнекамского месторождения калийных солей // Геология и полезные ископаемые Западного Урала: сб. ст. юбилейной конф., посвящ. 100-летию Перм. ун-та и 85-летию геол.ф-та. ПГНИУ, Пермь, 2016. – С. 124-127.
2. Бычков С.Г., Мичурин А.В., Симанов А.А. Гравиметрический мониторинг аварийных участков рудников Верхнекамского месторождения калийных солей // Геология и полезные ископаемые Западного Урала: сборник статей по материалам Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Пермь, ПГНИУ, 2017. – С. 132-137.
3. Бычков С.Г., Мичурин А.В., Симанов А.А. Гравиметрический мониторинг потенциально-опасных участков Верхнекамского месторождения калийных солей // Геология и полезные ископаемые Западного Урала (39-я Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием). Пермь, ПГНИУ. 2019. С. 187-194.
4. Бычков С.Г., Симанов А.А., Хохлова В.В. Современные процедуры вычисления аномалий силы тяжести при высокоточных гравиметрических наблюдениях // Вестник Пермского университета. Геология. 2013. № 3 (20). С. 61-70.

СПОСОБ РАЗДЕЛЕНИЯ ПОТЕНЦИАЛЬНОГО ПОЛЯ НА РЕГИОНАЛЬНУЮ И ЛОКАЛЬНУЮ СОСТАВЛЯЮЩИЕ

Рассматривается задача выделения региональной и локальной (остаточной) составляющих гравитационного и магнитного полей. Приводятся примеры применения традиционных методов построения регионального фона: пересчета поля в верхнее полупространство и полиномиальной аппроксимации. Предлагается моделирование фоновой компоненты геопотенциальных полей глубинными эквивалентными источниками. Задача сводится к решению нормальной системы линейных алгебраических уравнений методом Холецкого. Представлены три варианта построения региональной составляющей аномалий силы тяжести в редукции Буге для территории Пермского края, с использованием точечных источников, расположенных на глубинах 10, 25 и 50 км.

Ключевые слова: гравиразведка, магниторазведка, поле, трансформация, региональный фон, источник, аппроксимация, система уравнений, метод Холецкого.

METHOD FOR SEPARATING THE POTENTIAL FIELD TO REGIONAL AND LOCAL COMPONENTS

A.S. Dolgal

Mining Institute Ural Branch of the Russian Academy of Sciences,
Perm State University, dolgal@mi-perm.ru

The problem of identifying the regional and local (residual) components of the gravitational and magnetic fields is considered. Examples of application of traditional methods for constructing a regional background are given: field recalculation into the upper half-space and polynomial approximation. The modeling of the background component of geopotential fields by deep equivalent sources is proposed. The problem is reduced to solving a normal system of linear algebraic equations by the Cholesky method. Three variants of constructing the regional component of the gravity anomalies in the Bouguer reduction for the territory of the Perm Territory, using point sources located at depths of 10, 25 and 50 km are presented.

Key words: gravity prospecting, magnetic prospecting, field, transformation, regional background, source, approximation, system of equations, Cholesky method

На амплитуду гравитационных и магнитных аномалий в каждой точке измерений оказывают влияние многочисленные геологические объекты, имеющие разные физические характеристики (плотность и намагниченность) и форму, залегающие на различных глубинах. По этой причине морфология аномальных полей оказывается весьма сложной, что не только затрудняет их геологическое истолкование, но во многих случаях мешает даже визуальному обнаружению локальных аномалий от поисковых объектов. В такой ситуации целесообразно прибегнуть к трансформации – разделению сложных полей на более простые составляющие, каждую из которых можно проанализировать отдельно. Далее, на основе всех полученных сведений, удастся получить представление о пространственном распределении геоплотностных (геомагнитных)

неоднородностей в изучаемом объеме геологической среды. Трансформации получила очень широкое распространение в практике интерпретации геопотенциальных полей [5].

Согласно Ю.И. Блоху, в основе использования трансформаций геопотенциальных полей лежит «принцип фильтрации»: «*трансформация осуществляется с целью подавления мешающей информации и наиболее четкого выявления части полезной информации*» [2]. Пусть $u(x, y, z)$ - некоторый элемент аномального поля (для гравиразведки чаще всего $u = \Delta g$, для магниторазведки $u = \Delta T$), заданный на поверхности S в системе декартовых координат Σxyz . Во многих случаях принимают, что S – плоскость $z = 0$, в общем случае это поверхность, описываемая уравнением $z = z(x, y)$, характеризующим рельеф земной поверхности или фактическую линию полета при аэрогеофизической съемке. Трансформантой функции $u(x, y, z)$ называется новая функция $v(x, y, z)$, определенная на новой поверхности S^* :

$$v(x, y, z) = T\{u(x, y, z)\}, \quad (1)$$

где T – некоторый оператор трансформации (например, обеспечивающий вычисление 1-й вертикальной производной поля $\partial u / \partial z$). Выбор типа трансформации (вида функции v) определяется характером решаемой геологической задачи, объемом имеющейся априорной информации и зависит от интуиции интерпретатора.

Общепринятой классификации методов трансформации геопотенциальных полей не существует. Среди большого числа существующих трансформаций часто выделяют две основные группы, различающиеся по своим спектральным характеристикам: 1). группу «региональных трансформаций», предназначенных для построения регионального фона и сглаживания исходного поля; 2). группу «локальных трансформаций», предназначенных для выделения локальных аномалий различных порядков, обусловленных сравнительно небольшими по размерам и малоглубинными объектами [9].

Модель аномального потенциального поля в прикладной геофизике, которая не занимается изучением материковых аномалий, но учитывает наличие в поле помех ε различной природы, можно представить в виде суммы трех составляющих:

$$u = u_{\text{рег}} + u_{\text{лок}} + \varepsilon, \quad (2)$$

различающихся по своим частотным характеристикам. Наименьшую ширину будет иметь спектр региональной составляющей $u_{\text{рег}}$, имеющий низкочастотный состав; наибольшую - высокочастотный спектр помехи ε [О]. Для выделения региональной составляющей $u_{\text{рег}}$ традиционно используются методы низ-

кочастотной (НЧ) цифровой фильтрации – осреднение в скользящем окне и пересчет в верхнее полупространство (рис. 1), полиномиальная аппроксимация и др. подобные преобразования [4, 5, 7, 8].

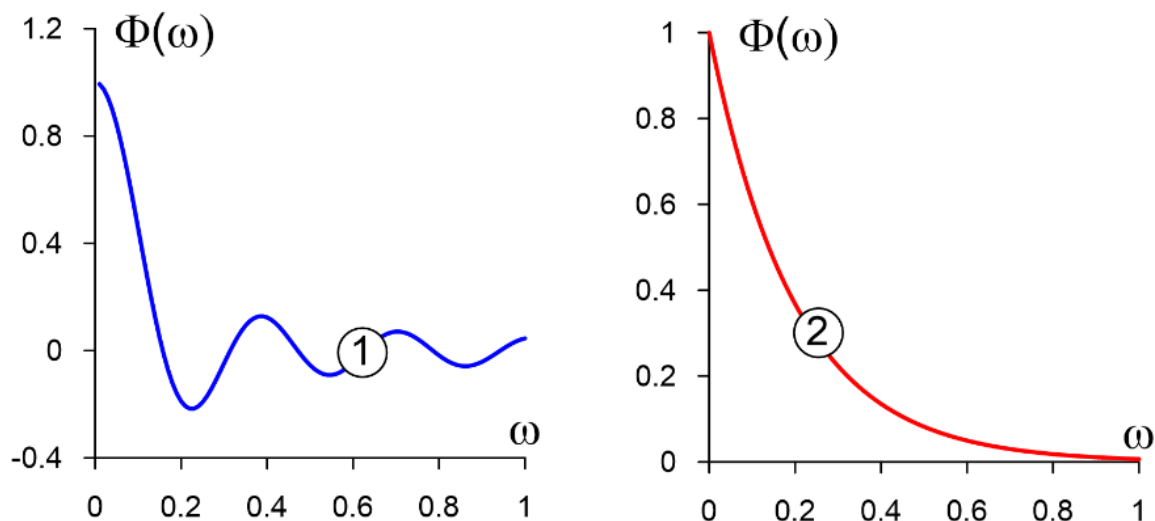


Рис. 1. Теоретические частотные характеристики $\Phi(\omega)$ НЧ-фильтров, использующихся при выделении региональной составляющей $u_{\text{рег}}$ поля: 1 – осреднение в скользящем окне; 2 – пересчет в верхнее полупространство.

Результаты пересчета аномального магнитного поля ΔT на высоты 1.7, 5 и 10 км приведены на рис. 2. Исходными данными являлись результаты аэромагнитной съемки, выполненной в пределах Охотско-Чукотского вулканического пояса. Максимальная высота 10 км примерно отвечает $1/4$ размера стороны участка, площадь которого $\sim 1640 \text{ км}^2$.

При трансформации данных площадных измерений геофизических полей с использованием преобразований в скользящих окнах всегда происходит сокращение результативной площади. В площадном варианте на периферии области задания поля возникает зона потери информации, имеющая ширину $1/2$ стороны скользящего окна (рис. 3). Чтобы избежать этого, в некоторых компьютерных технологиях используется экстраполяция поля за пределы контура съемки. В этом случае площадь полученной трансформанты $v(x, y)$ равна площади исходного поля $u(x, y)$, однако достоверность значений $v(x, y)$ вблизи границы участка снижается.

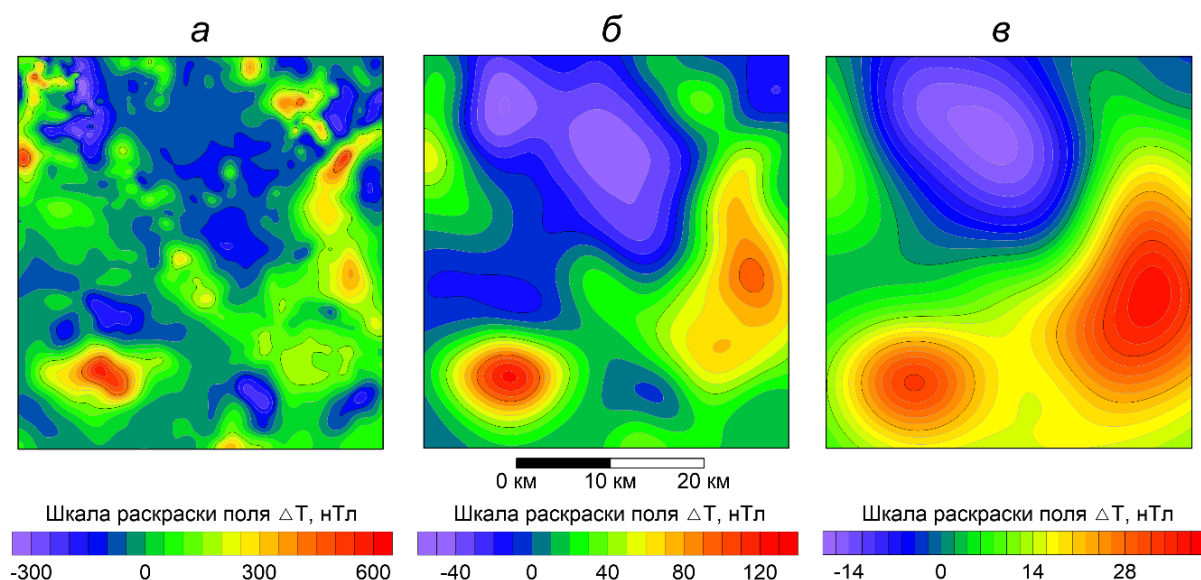


Рис. 2. Результаты пересчета магнитного поля ΔT в верхнее полупространство: карты изодинам ΔT на трех высотах: *a* – 1.7 км (сечение изодинам 50 нТл); *б* – 5 км (сечение изодинам 10 нТл); *в* – 10 км (сечение изодинам 2 нТл).



Рис. 3. Схема, поясняющая возникновение зоны потери информации при трансформации поля в скользящем окне размером $L \times L$.

Существуют методы выделения региональной составляющей, не использующие преобразований в скользящих окнах, одним из которых является тренд-анализ. Суть его заключается в аппроксимации регионального фона на всем участке наблюдений единой функцией из некоторого класса - трендом. После вычитания этого фона из наблюдаемого поля получаются остаточные (локальные) аномалии. Наиболее распространено применение в качестве тренда алгебраических полиномов невысокой степени $F_n(x, y) = \sum_{i,j}^n a_{ij} x^i y^j$.

Важнейшим в тренд-анализе является вопрос о выборе оптимальной степени аппроксимирующего многочлена, то есть величины n . Обычно такое разделение проводят несколько раз, увеличивая размерность полинома и анализируя получающиеся локальные аномалии [2]. Если разделение производится исключи-

тельно в целях обнаружения локальных аномалий, достаточно визуального контроля результатов. Если же выделенные аномалии предполагается анализировать более тщательно, можно пользоваться рядом критериев, среди которых, как и в корреляционных способах разделения, преобладают связанные с минимумом дисперсии локальной составляющей (в частности – F -критерий Фишера). Построение полиномов различных степеней $n = 1, 2, 3, 4$ для магнитного поля ΔT над вулканитами мелового возраста, представленного на рис. 3а, показано на рис. 4.

Предлагается для выделения регионального фона $u_{\text{рег}}$ использовать моделирование низкочастотной составляющей поля ограниченным числом глубинных источников, число которых N много меньше количества точек измерений M : $N \ll M$. Глубина их размещения Δz выбирается интерпретатором и может составлять от 5 шагов сети и более. Расстояние Δr между источниками в плане близко к их глубине: $\Delta r \cong \Delta z$. Конфигурация участка съемки может отличаться от прямоугольной формы и в общем случае аномалиеобразующие тела могут располагаться не строго под точками задания поля. Глубины Δz источников отсчитываются от гипсометрической отметки ближайшего в плане пункта наблюдений.

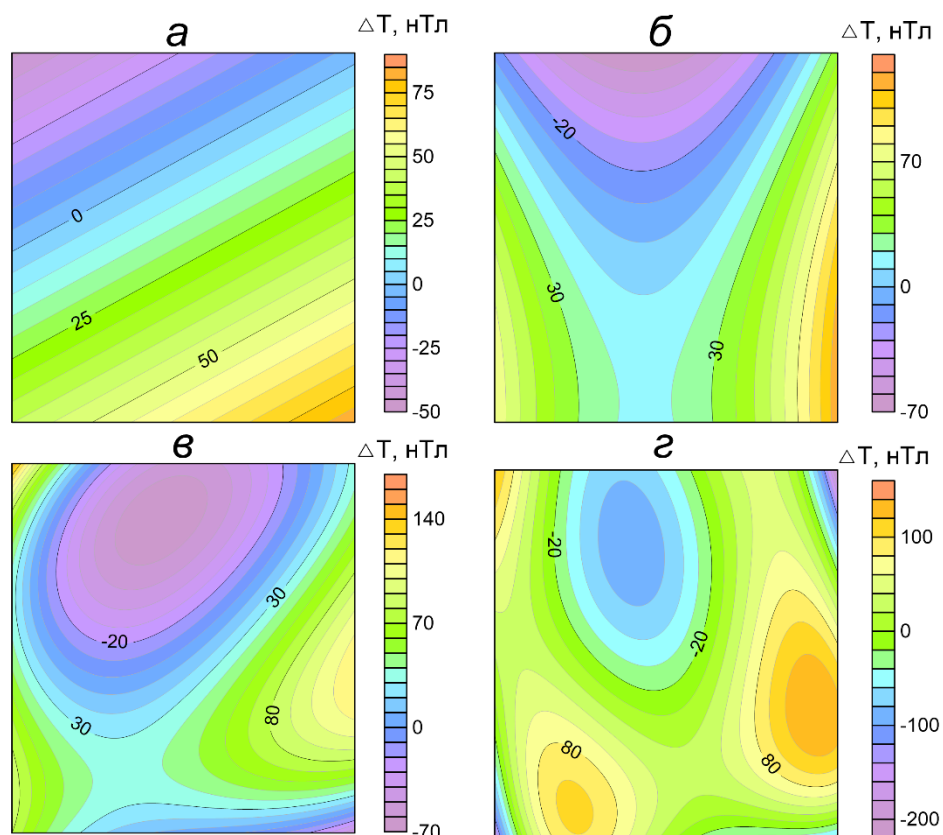


Рис. 4. Выделение регионального фона для магнитного поля ΔT методом тренд-анализа с использованием полиномов $F_n(x, y)$: а – 1-й степени; б – 2-й степени; в – 3-й степени; з – 4-й степени.

Простейшим элементарным телом при аппроксимации гравитационного поля является материальная точка, магнитного – магнитный диполь [6]. В качестве физического параметра, ответственного за аномальный эффект тела, выступает аномальная масса (для магнитного поля – магнитный момент). Далее, без ограничения общности, будем рассматривать только метод гравиразведки. Под аномальным эффектом в данном случае подразумевается первая вертикальная производная V_z гравитационного потенциала точечного источника:

$$G = V_z = \gamma \frac{z}{(x^2 + y^2 + z^2)^{3/2}}, \quad (3)$$

где $\gamma = 6.674 \times 10^{-11} \text{ м}^3 \text{ кг}^{-1} \text{ с}^{-2}$ – гравитационная постоянная; x, y, z – расстояния от источника до точки наблюдений. Для определения неизвестных масс точечных источников необходимо решить систему линейных алгебраических уравнений (СЛАУ) с приближенно заданной правой частью вида:

$$\mathbf{G}\alpha = \mathbf{u}, \quad (4)$$

где α – вектор неизвестных значений аномальных масс, \mathbf{G} – матрица значений гравитационных эффектов (3) источников с единичной массой ($\alpha = 1$). СЛАУ (4) является переопределенной, в ней число уравнений M превышает число неизвестных N . Для ее решения применяется метод наименьших квадратов, минимизирующий функционал невязки $\|\mathbf{G}\alpha - \mathbf{u}\|_{L^2} \rightarrow \min$ [3]. Осуществляется поиск псевдорешения нормальной системы N уравнений, полученной с помощью левой трансформации Гаусса:

$$\mathbf{G}^T \mathbf{G} \alpha = \mathbf{G}^T \mathbf{u}. \quad (5).$$

Нормальная система (5) всегда совместна. В отличие от матрицы коэффициентов \mathbf{G} (при задании гравитационного поля на криволинейной поверхности S), матрица $\mathbf{U} = \mathbf{G}^T \mathbf{G}$ обладают свойством симметричности и положительной определенности $\mathbf{U} = \mathbf{U}^T$. Эта матрица \mathbf{U} единственным образом может быть представлена в виде произведения левой и правой треугольных матриц $\mathbf{U} = \mathbf{L}\mathbf{L}^T$, где \mathbf{L} - нижняя треугольная матрица со строго положительными элементами главной диагонали. Элементы матрицы \mathbf{L} вычисляются с помощью разложения Холецкого:

$$l_{ij} = U_{ij} - \sum_{k=1}^{j-1} l_{ik} l_{jk} / l_{jj}, \text{ при } j < i, \quad (6)$$

$$l_{ii} = \sqrt{U_{ii} - \sum_{k=1}^{i-1} l_{ik}^2}, \text{ при } j = i. \quad (7)$$

Введем обозначение $\mathbf{y} = \mathbf{L}^T \mathbf{x}$. Далее выполняется решение двух СЛАУ с треугольными матрицами $\mathbf{L}\mathbf{y} = \mathbf{G}^T \mathbf{u}$ и $\mathbf{L}^T \mathbf{x} = \mathbf{y}$ [3]. Данный метод весьма экономичен, обладает высокой устойчивостью к погрешностям округлений и в итоге обеспечивает наилучшую аппроксимацию вектора \mathbf{u} (наблюденного поля) совокупностью векторов $\mathbf{G}\boldsymbol{\alpha}$ (теоретическим полем) при заданном пространственном размещении эквивалентных источников.

Приведем оценку для характеристики реальной величины погрешности, возникающих за счет округлений при решении СЛАУ метод Холецкого (6), (7). Для этого используем изменение масштабов, меняющее картину накопления этой погрешности [1]. Проведем решение двух систем, исходной $\mathbf{Ax} = \mathbf{b}$ и дублирующей $\alpha \mathbf{Ax}' = \beta \mathbf{b}$ для модели, включающей в себя $M = 400$ точек поля, созданного одиночной призмой с квадратным основанием размером 400×400 м. Если принять $\alpha = \sqrt{2}$, $\beta = \sqrt{3}$, то должно выполняться равенство $x \cong \alpha / \beta x'$. При глубине источников $\Delta z = 300$ м, числе источников $N = 49$, среднее значение $x / x' = 0.8164983$, СКО – 0.0000112. Т.к. отношение $\alpha / \beta = 0.8164965$, то можно утверждать, что решение СЛАУ имеет точность не менее 5 знаков после запятой $O[10^{-5}]$ при использованном формате представления вещественных чисел double (8 байт).

На рис. 5 приведены различные варианты построения регионального фона $u_{\text{рег}}$ для среднемасштабной гравиметрической съемки, выполненной на территории Пермского края. В данном примере фигурирует $M = 11223$ точек гравитационного поля (размер матрицы \mathbf{u} – 129 строк, 87 столбцов). В варианте 1 $\Delta z = 50$ км, число источников $N = 140$, среднеквадратическое отклонение (СКО) наблюдаемого поля и его фоновой составляющей $\delta = \sqrt{\sum_{i=1}^M (u^i - u_{\text{рег}}^i)^2 / M} = 5.97$ мГал (рис. 5б). В варианте 2 $\Delta z = 25$ км, число источников $N = 486$, величина $\delta = 3.08$ мГал (рис. 5в). В варианте 3 $\Delta z = 10$ км, число источников $N = 2860$, $\delta = 1.13$ мГал (рис 5г).

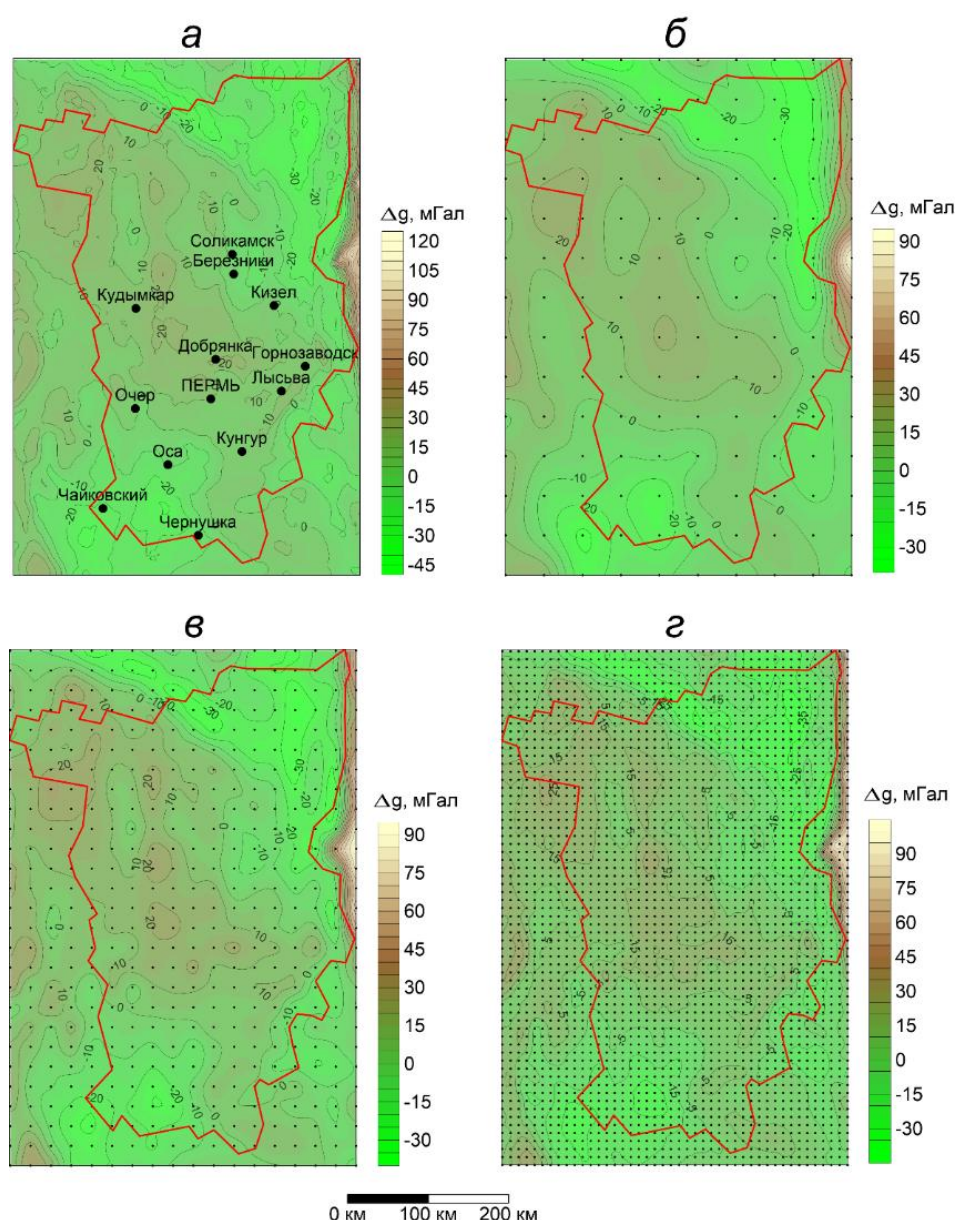


Рис. 5. Гравитационное поле: *а* – наблюдаемое; региональный фон при глубине расположения эквивалентных источников: *б* – 50 км, *в* – 25 км, *г* – 10 км.

Примечание: черные точки – эквивалентные источники; красный контур – граница территории Пермского края.

Полученную описанным выше способом региональную составляющую, можно исключить из исходного поля и получить локальные (остаточные) аномалии: $u_{\text{лок}} = u - u_{\text{рег}}$. Основным параметром трансформации при выделении остаточных аномалий в данном случае является глубина размещения Δz аппроксимирующих масс. В других способах выделения $u_{\text{рег}}$ близкую роль играют радиус осреднения, высота пересчета и степень полинома, используемого для вычисления тренда. В отличие от традиционных подходов, истокообразная аппроксимация при выделении фоновой компоненты $u_{\text{рег}}$ в пределе позволяет отождествить ее с полем некоторой части источников в реальной среде. В этом

случае, соответственно, остаточная компонента $u_{\text{лок}}$ будет являться полем тех источников, которые не вошли в первую часть и также отвечают реальным геологическим телам или границам. Это может обеспечить физический смысл предложенному способу разделения поля на две составляющие.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 19-05-00654 А.

Библиографический список Бахвалов Н.С., Жидков Н.П., Кобельков Г.М. Численные методы. М.: Наука, 2000. 622 с.

2. Блох Ю.И. Интерпретация гравитационных и магнитных аномалий. 2009. 232 с. <http://sigma3d.com/index.php/publications/books> Дата обращения 25.03.2021 г

3. Вычислительная математика и техника в разведочной геофизике: справочник геофизика. М.: Недра. 1990. 498с.

4. Гершанок Л.А. Магниторазведка: учебник / Перм. ун-т. Пермь, 2009. 421 с.

5. Гравиразведка: Справочник геофизика. / Под ред. Мудрецов Е.А., Веселова К.Е. 2-е изд., перераб. и доп. М., 1990. 607 с.

6. Долгаль А.С., Костицын В.И., Новикова П.Н., Пугин А.В. Алгоритмы аппроксимации геопотенциальных полей истокообразными функциями // Геофизика. 2016. № 5. С. 4–10.

7. Долгаль А.С., Костицын В.И., Новикова П.Н., Пугин А.В., Рашидов В.А., Христенко Л.А. Практическое применение истокообразной аппроксимации геолого-геофизических данных. // Геофизика. 2017. № 5. С. 29–37.

8. Никитин А.А., Петров А.В. Теоретические основы обработки геофизической информации: учебное пособие. Москва. Издательство МГГРУ. 2008. 112 с.

9. Тафеев Г.П., Соколов К.П. Геологическая интерпретация магнитных аномалий. Л.: Недра: Ленингр. отд-ние, 1981. 327 с.

10. Долгаль А.С. Моделирование геологических объектов и геофизических полей с использованием вейвлетов ХААРА // Вестник Пермского университета. Геология. 2014. № 4 (25). С. 66-80.

11. Долгаль А.С. Аддитивные технологии локализации источников геопотенциальных полей // Вестник Пермского университета. Геология. 2019. Т. 18. № 4. С. 380-385.

12. Долгаль А.С. Совершенствование методов количественной интерпретации геопотенциальных полей // Вестник Пермского университета. Геология. 2012. № 4 (17). С. 47-55.

ВЛИЯНИЕ ВЫБОРА МЕТОДИКИ ОБРАБОТКИ И ИНТЕРПРЕТАЦИИ ДАННЫХ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ МОГТ 3D НА ТОЧНОСТЬ И ДЕТАЛЬНОСТЬ СЕЙСМОГЕОЛОГИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

В статье рассмотрен анализ использованных двумя геофизическими компаниями методик обработки и интерпретации данных сейсморазведки МОГТ 3D при построении сейсмогеологической модели структуры. Результатом является сравнение «геологических параметров» построенных сейсмогеологических моделей одной и той же структуры.

Ключевые слова: обработка данных МОГТ 3D, интерпретация данных, структурные построения, отражающий горизонт, структурная карта, сейсмогеологическая модель.

A.S. Zerova

KamNIKIGS, Perm, azerova-95@mail.ru

THE SEISMIC PROCESSING AND INTERPRETATION INFLUENCE ON THE SEISMOGEOLOGICAL MODEL ACCURACY AND DETAIL

The article examines the analysis of the 3D seismic processing and interpretation received by the process of seismological model construction of two geophysical companies. The result is a "geological parameters" comparison of the two constructed seismic-geological models on the same structure.

Key words: CDP method, processing, data interpretation, structural interpretation, reflecting horizon, structural map, seismic geological model.

На настоящий момент одним из основных геофизических методов, используемых при построении сейсмогеологических моделей, является современная 3D сейсморазведка. Но, не смотря на свою эффективность и достаточно широкое распространение, как и в любом методе, существует ряд проблем, приводящих к искажению конечного результата и не всегда положительным итогам. Причиной является выбор неоптимальной методики обработки и интерпретации, что приводит к возникновению неточности и погрешности в моделировании месторождений [1].

Основанием для статьи послужил анализ результатов обработки и интерпретации сейсмических данных съемки МОГТ 3D, выполненных в 2018 г. на территории Пермского края. На данном объекте две геофизические компании (назовем их К1 и К2) выполнили практически одинаковый комплекс процедур, включающий обработку, структурные построения и динамический анализ. Сравнение «геологических параметров» построенных ими моделей позволит оценить качество используемых методик обработки и интерпретации сейсмоданных.

Объект исследования. Полевые сейсморазведочные работы МОГТ 3D выполнены на проектной площади 40 км², система наблюдений центральная, симметричная, типа «крест». Основные параметры сейсморазведочных работ представлены в таблице 1. В пределах площади пробурено 9 структурно-поисковых скважин (вскрывших кровлю кунгурского яруса) и 3 глубоких скважины (две из них вскрыли кровлю вендских терригенных образований, одна - франско-фаменские карбонатные отложения) (рис.1).

Позднее по результатам работ К2 пробурена поисковая скважина П1 (в данной работе она послужит как контрольная, для определения точности полученных моделей).

Таблица 1. Основные параметры сейсморазведочных работ

№ п/п	Показатели, ед. измерения	Параметры
1	Модификация (система наблюдений)	МОГТ 3D, “крест”, центральная, симметричная
2	Площадь работ, км ²	40
3	Общее количество физ. наблюдений, шт.	3216
4	Количество ПВ на км ² , шт.	79.92
5	Расстояние между ЛПП, м	250
6	Расстояние между ЛПВ, м	250
7	Расстояние между пп, м	25
8	Расстояние между пв, м	50
9	Расстояние между центрами групп сп, м	25
10	Полная кратность системы наблюдения	72
11	Размер бина, м×м	25×25
12	Количество бинов (S площади / S бина)	62400

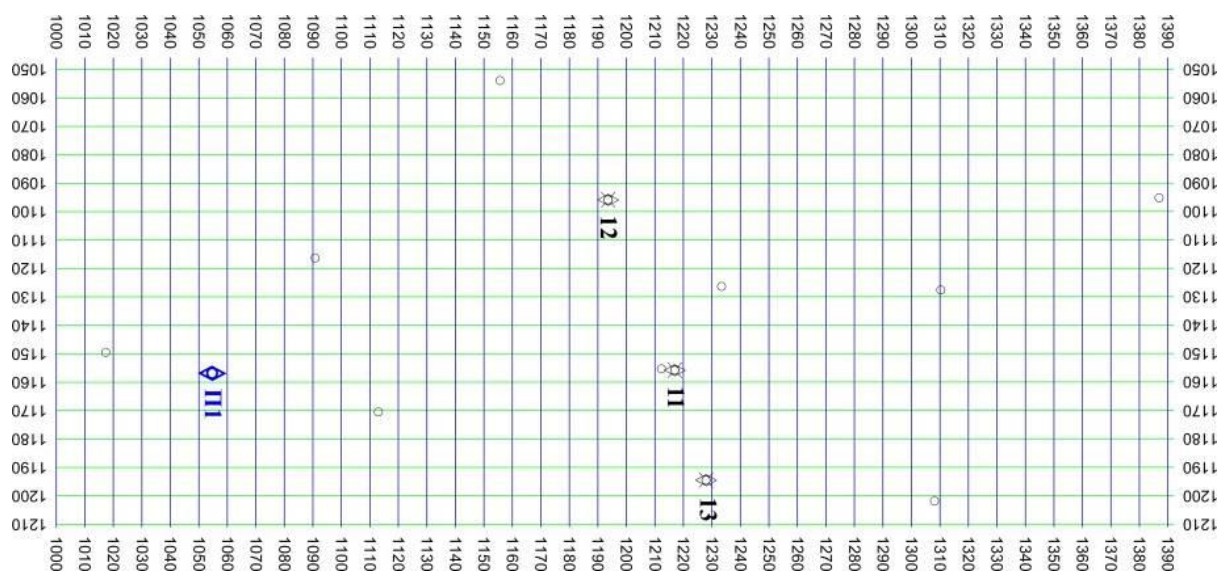


Рис.1. Схема расположения проектных профилей и скважин

Рассматриваемая структура находится на границе Верхнекамско-Пермского нефтегазоносного района и нефтегазоносного района Северо-Западного борта ККСП. Потенциально перспективными на структуре являются верейский терригенно-карбонатный, верхневизейско-башкирский карбонатный, нижне-средневизейский терригенный и верхнедевонско-турнейский карбонатный нефтегазоносные комплексы.

Задачей настоящей статьи является рассмотрение использованных двумя компаниями методик обработки и интерпретации и выявление причин, повлиявших на различие полученных ими сейсмогеологических моделей.

Рассмотрим различия в методике обработки:

1. *Процедура бинирования.* Важнейшими интегральными характеристиками конкретной применяемой технологии МОГТ-3D принято считать размеры используемого бина и кратность системы наблюдений. Размеры бина определяют пространственную разрешенность получаемых данных [2].

При обработке данных K1 выбрала размер бина 25x25 м, номинальная кратность составила 72. В результате процедуры суммирования количество суммарных трасс на 1 км² составило 1600 шт.

K2, уменьшив размеры бина до 12.5x25 м (номинальная кратность при этом составила 36), получила в два раза выше количество суммарных трасс, тем самым получив более разрешенную сейсмическую запись (рис.2).

На рисунке 2 показано сопоставление волновых картин по одному профилю, полученных при обработке разными компаниями. Сейсмическая запись варианта обработки K2 характеризуется более широкой полосой пропускания частот.

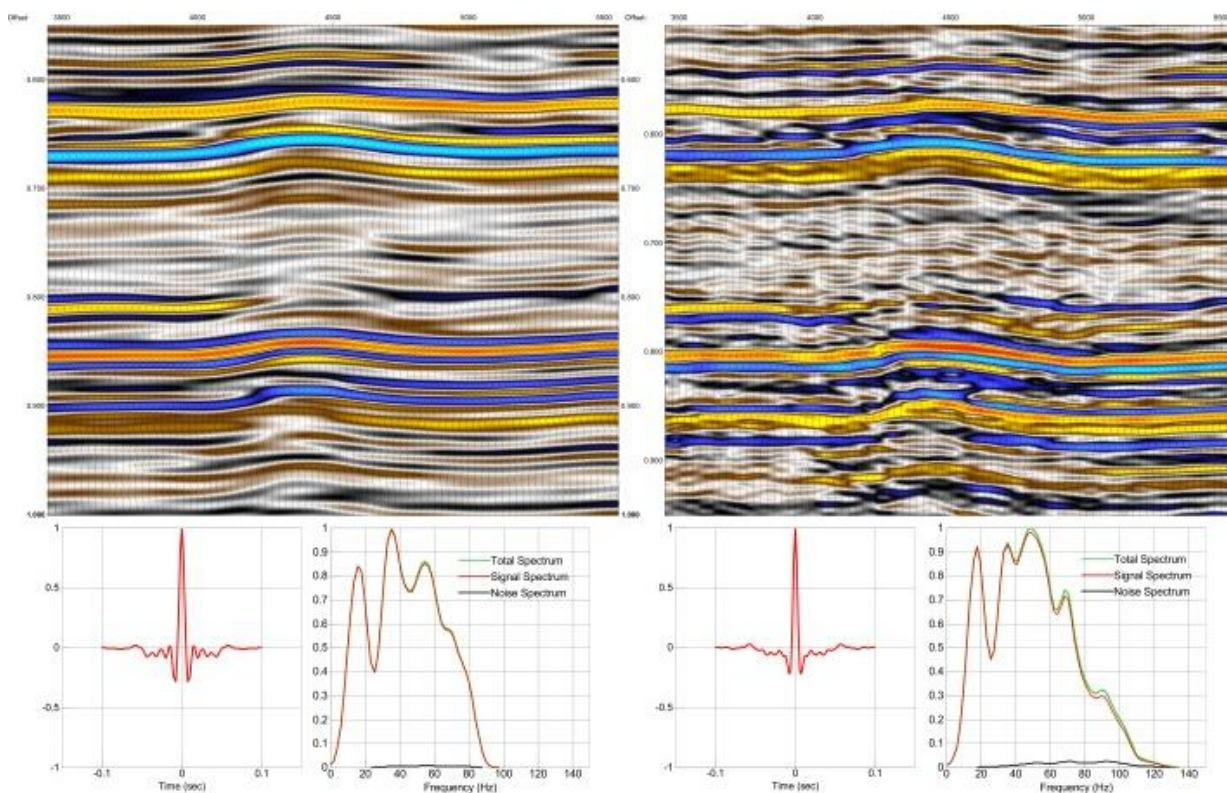


Рис.2. Сейсмические импульсы и АЧХ: а – K1, б – K2

2. *Использование разных методик расчета априорных статических поправок.* Эти поправки, которые учитывают рельеф дневной поверхности, и времена распространения волн в верхней части разреза, оказывают существенное влияние на достоверность отображения рельефа отражающих границ [3].

К1 проводила вычисление статических поправок с использованием первых вступлений преломленных волн. Модель ВЧР принята однослойной. Уровень приведения +100 метров. Скорость ЗМС принята постоянной V_0 - 1890 м/с, скорость замещения - 3000 м/с.

К2 также учитывала влияние скоростных неоднородностей ВЧР на основе корреляции первых вступлений. Но выбрала трехслойную модель ВЧР (рис. 3). Уровень приведения +255 м. Скорость замещения 3150 м/с. Среднее значение скорости в первом рефракторе 2650 м/с, во втором рефракторе - 5100 м/с.

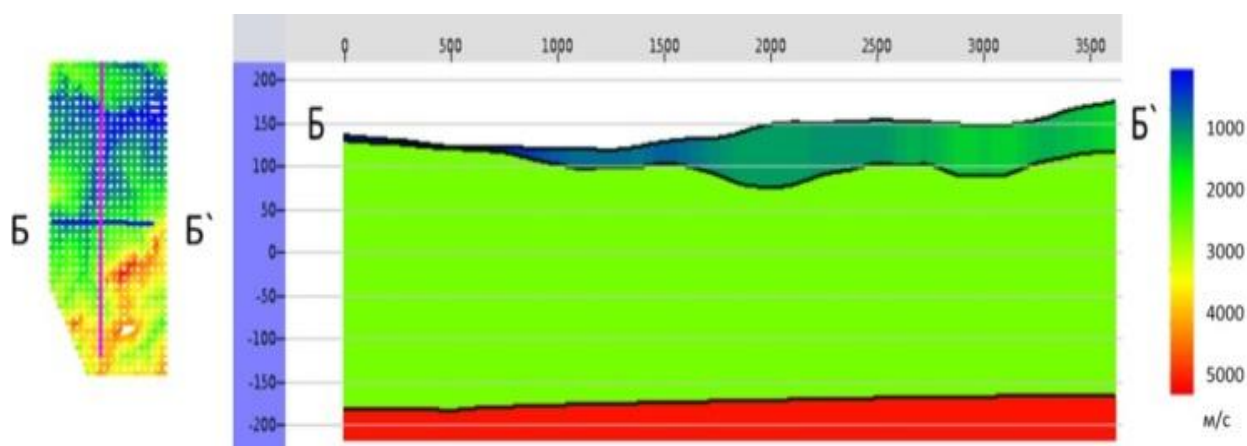


Рис. 3. Вертикальное сечение глубинно-скоростной трехслойной модели ВЧР (К2)

Дополнительно Компанией 1 была проведена процедура учета низкочастотной составляющей статических поправок для увязки верхней отражающей границы со структурной картой, построенной по данным бурения. По карте глубин ОГ К и скорости замещения найдены расчетные значения T_0 и получены стат-поправки.

На рисунке 4 приведены варианты временного разреза по одному и тому же профилю, полученные при обработке К1 и К2 с использованием разных априорных статических поправок. Это как раз тот случай, когда морфология отражающих границ существенно различается. Оба метода расчета привели к некоторому недоучету статических поправок, что исправлялось на этапе интерпретации.

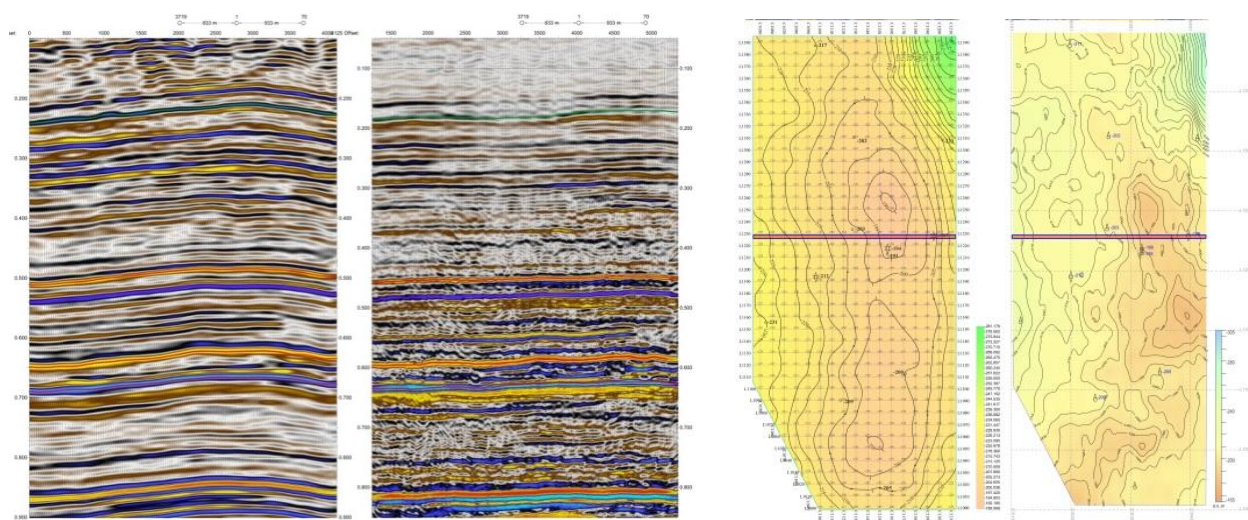


Рис. 4. Временные разрезы по одному профилю: а – К1, б – К2

3. *Использование разных скоростных зависимостей при проведении процедуры миграции.* Целью сейсмической миграции является получение правильного положения в пространстве отражающих границ и дифрагирующих объектов. Неточность учета миграции приводит к искажению структурных планов отражающих границ.

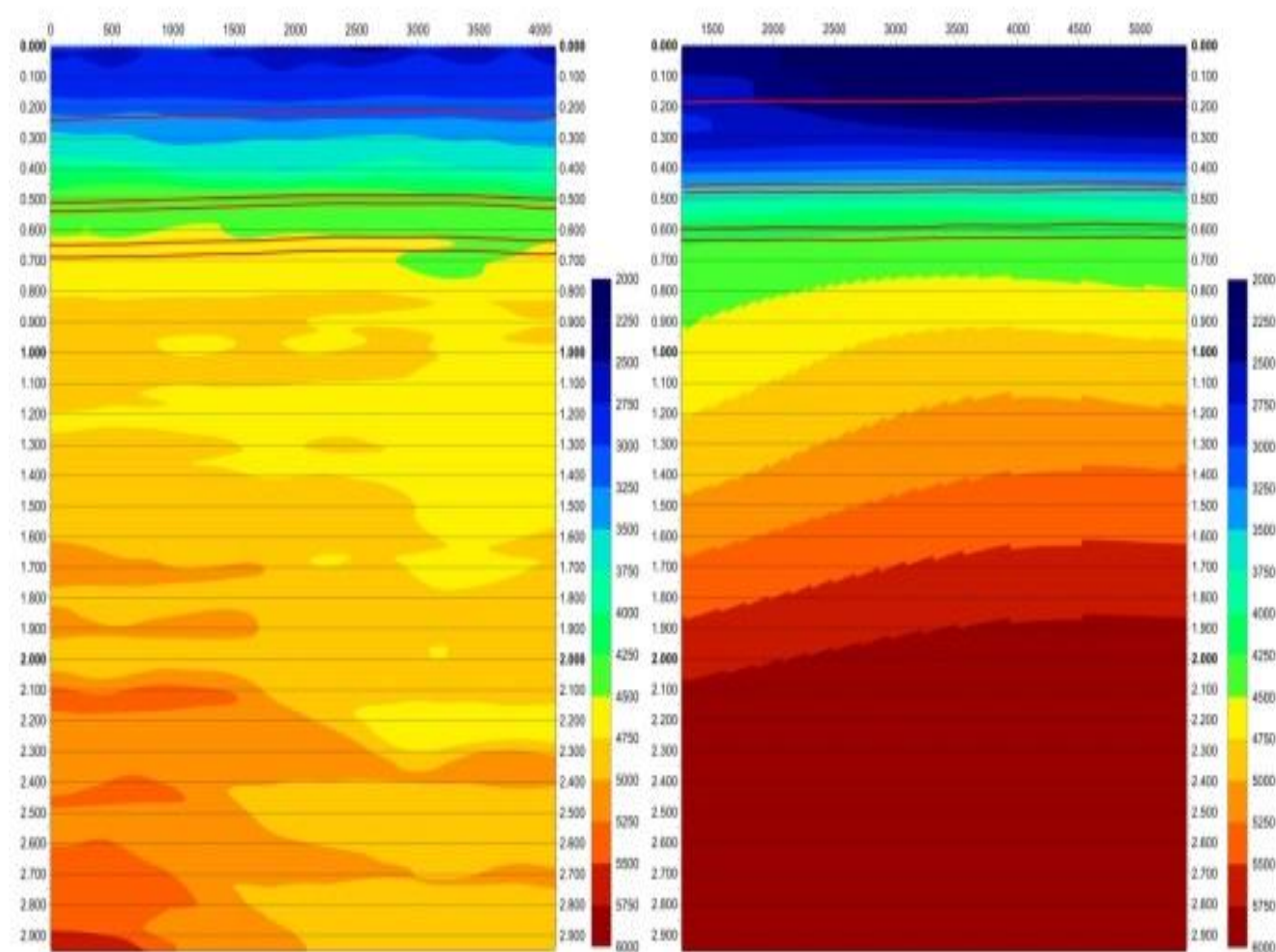


Рис. 5. Вертикальные временные срезы скоростных моделей: а – К1, б - К2

При выполнении миграции до суммирования входным параметром является скоростная модель. На рисунке 5 представлены вертикальные временные срезы скоростных моделей используемых компаниями для миграции. К1 в качестве скорости миграции выбрала скорость 115 % от скорости суммирования.

К2 в качестве базовых скоростей для миграции использовала интерполированные по площади скорости суммирования.

Различия в методике интерпретации:

1. *Различия в корреляции стратиграфических маркеров по скважинам.* Обе организации проводили корректировку стратиграфических отбивок по скважинам. В таблице 2 приведены отбивки кровли карбонатных отложений кунгурского яруса (ОГ К) и терригенных отложений тульского горизонта (ОГ Пк) по глубоким скважинам. В версии К1 и К2 в скв. 11 отбивки ОГ Пк выше на 7 и 8 м соответственно, чем отбивки принятые при выполненном анализе и переинтерпретации. В скважине 13 выше на 4 метра. А в скв. 12 отбивка ОГ Пк у К2 выше на 14 м. Следовательно, на эти метры выше и структурные планы. Переинтерпретированные стратиграфические отбивки можно считать более достоверными, т.к. они были сделаны с единым подходом, опираясь на фаунистический возраст пород.

Таблица 2. Стратиграфические отбивки ОГ К и Пк по глубоким скважинам

№ скв	ОГ	Абс. отм., м		
		К1	К2	Результат переинтерпретации
11	К (P1k)	-194	-190	-195
	П ^к (C1tlT)	-1260	-1259	-1267
12	К (P1k)	-212	-212	-214
	П ^к (C1tlT)	-1285	-1271	-1285
13	К (P1k)	-202	-198	-198
	П ^к (C1tlT)	-1264	-1264	-1268

2. *Методика структурных построений.* Структурная интерпретация (определение морфологии отражающих границ) на настоящий момент по-прежнему являются одним из основных этапов интерпретации сейсмических данных.

- Построение структурного плана ОГ К:

Компанией 1 структурный план ОГ К построен по данным бурения 11 скважин с учетом поведения T_0K .

Итоговая структурная карта ОГ К Компании 2 строилась по регрессионной зависимости ($KVK=0.926$) с использованием временных пикировок и стратиграфических отбивок по 11 скважинам, карта была откалибрована по отбивкам в скважинах.

Точность построения структурного плана ОГ К очень важна, т.к. он является границей приведения при построении нижележащих горизонтов. Не корректно построенный план ОГ К может привести к накоплению погрешностей.

- Построение нижележащих горизонтов :

Компанией 1 нижележащие горизонты были построены через карты интервальных времен: $\Delta T_{0I_{п-К}}$, $\Delta T_{0II_{п-К}}$, $\Delta T_{0I_{п-К}}$, $\Delta T_{0II_{п-К}}$, $\Delta T_{0III_{п-К}}$. В зависимости

ΔH от ΔT_0 были использованы также данные с ближайшей площади 3D. Далее были получены карты мощностей и построены структурные поверхности ОГ I^П, II^К, II^П, III. Интервальные скорости рассчитаны в точках глубоких скважин по значениям толщин и интервальных времен. Вычисление глубин ОГ II^К проводились от ОГ II^П с использованием $\Delta T_{0\Pi\Pi-IIK}$ и $V_{\text{инт}\Pi\Pi-IIK}$.

Компанией 2 нижележащие горизонты строились по регрессионной зависимости $H=f(T_0)$, где в качестве исходных данных были временные пикировки ОГ и стратиграфические отбивки по 3 поисковым скважинам.

Результаты работ двух организаций имеют существенные различия структурной модели (рис. 6, 7). Сопоставление прогнозных данных сейсморазведки и результатов бурения рекомендованной поисковой скважины П1 приведены в таблице 3. Данные бурения на рассматриваемом объекте показали, что расхождение прогнозных и фактических абсолютных отметок отражающих горизонтов составляет 3-13 м с данными К1 и 4-18 м с данными К2, а в среднем равно 7.2 м и 11.6 м соответственно.

Таблица 3. Сопоставление прогнозных данных сейсморазведки и результатов бурения скв.П1

Отражающий горизонт, интервал	Абсолютная отметка, м		Расхождение, м (↓↑ по скважине глубже/выше)	Погрешность из отчета, м			
	По данным сейсморазведки*					По данным бурения	
	К1	К2	К1	К2	К1		К2
К (P _{1k})	-196	-195	-199	↑	↑4	5.00	10.70
I ^K (C _{2vr_T})	-905	-889	-898	↓ 7	↑9	9.13	4.80
I ^П (C _{2b})	-956	-937	-952	↓ 4	↑15	9.10	5.70
II ^K (C _{1tl_T})	-1260	-1229	-1247	↓ 13	↑18	12.35	6.70
II ^П (C _{1t})	-1335	-1314	-1326	↓ 9	↑12	12.31	8.50
III (D _{3tm})	-1917	-1910	нв			14.16	9.90

* Примечание: прогнозные отметки приведены с учетом фактических пластопересечений скв. П1

Причем, все ОГ (кроме ОГ К) в версии К1 оказались ниже прогнозируемых отметок, а в версии К2 все ОГ, наоборот, оказались выше. Таким образом расхождение прогнозных отметок двух компаний составляет от 1 до 31 м. Также важно что, расхождение прогнозных отметок глубин К2 и данных бурения скважины П1 превышает заявленные в отчете погрешности структурных построений по основным отражающим горизонтам.

Проведенный сравнительный анализ показал, что, несмотря на то, что обработку и интерпретацию выполняли ведущие сервисные компании, обладающие большим опытом и современными программными комплексами, результаты имеют ряд отличных между собой достоинств и недостатков. К2 в результате обработки получила более разрешенную (следовательно, более информативную) сейсмическую запись. Но выбор некорректной, на мой взгляд, методики структурных построений привел к существенному расхождению прогнозных отметок глубин и данных бурения скважины П1.

К1, несмотря на менее информативный материал, достигла меньших величин расхождения прогнозных отметок глубин - данные бурения скважины П1 не превышают заявленные в отчете погрешности. Но структурные планы карбона не отличаются детальностью. Структурная модель «зажата» шаблоном, заданным на этапе обработки.

Применение различных графов обработки и подходов к интерпретации сейсмических данных привело к получению двух различных структурных моделей исследуемого поднятия. Данные по вновь пробуренной скважине П1 дали основание для переинтерпретации геолого-геофизической информации.

Автором статьи была проведена переинтерпретация сейсмических материалов МОГТ 3D уже с учетом данных бурения скважины П1. Для переинтерпретации выбран временной мигрированный куб данных 3D в обработке К2. Построены структурные поверхности ОГ К и П^К. Вычисление глубин залегания целевых отражающих горизонтов выполнено способом T_0 . Для структурных построений ОГ К построена карта T_0K . Скорости V_1 рассчитаны в точках структурных и глубоких скважин по значениям толщин между кровлей кунгурского яруса и уровнем приведения (+255 м) и T_0K . Для ОГ П^К была построена карта интервальных времен $\Delta T_0^{Пк-К}$. Интервальные скорости рассчитаны в точках пластопересечений глубоких скважин по значениям толщин между соответствующими горизонтами и интервальных времен.

На рисунках 6 и 7 представлены результаты работ двух компаний и переинтерпретации. Коррекция Компанией 1 статпоправок по структурной карте ВОГ (верхней отражающей границы), построенной по данным всего 11 скважин, с одной стороны страхует от картирования ложных поднятий, с другой стороны, при редкой сети структурных скважин, геометрия куба данных подгоняется под генерализованный шаблон и в этой связи, наоборот, существует большая вероятность заведомого отсечения перспективных поднятий, существование которых проще оценить и редактировать на этапе интерпретации. При построении основного горизонта П^К от нижезалегающего П^П волна дважды проходит через низкоскоростную и весьма изменчивую визейскую терригенную толщу, при этом накапливается ошибка, которой можно вообще избежать.

Отказ Компании 2 от ОГ К, как границы приведения для построения нижезалегающих горизонтов, может привести к значительным перекосам структурных планов ОГ карбона. Примером может служить «провал» ОГ П^К в северной части площади в плане соответствующей пойме реки.

Вывод. Обработка и интерпретация сейсмических данных – вариативный и сложный процесс, который без должного контроля со стороны специалиста-геолога и специалиста-интерпретатора может приводить к противоречивым результатам, снижая ценность полученной информации, точность и детальность построенных на ее основе сейсмогеологических моделей. Поэтому лучше избегать крайних вариантов, как в обработке, так и в интерпретации, особенно при выборе уровня приведения сейсмической записи и использовании ВОГ в качестве границы приведения.

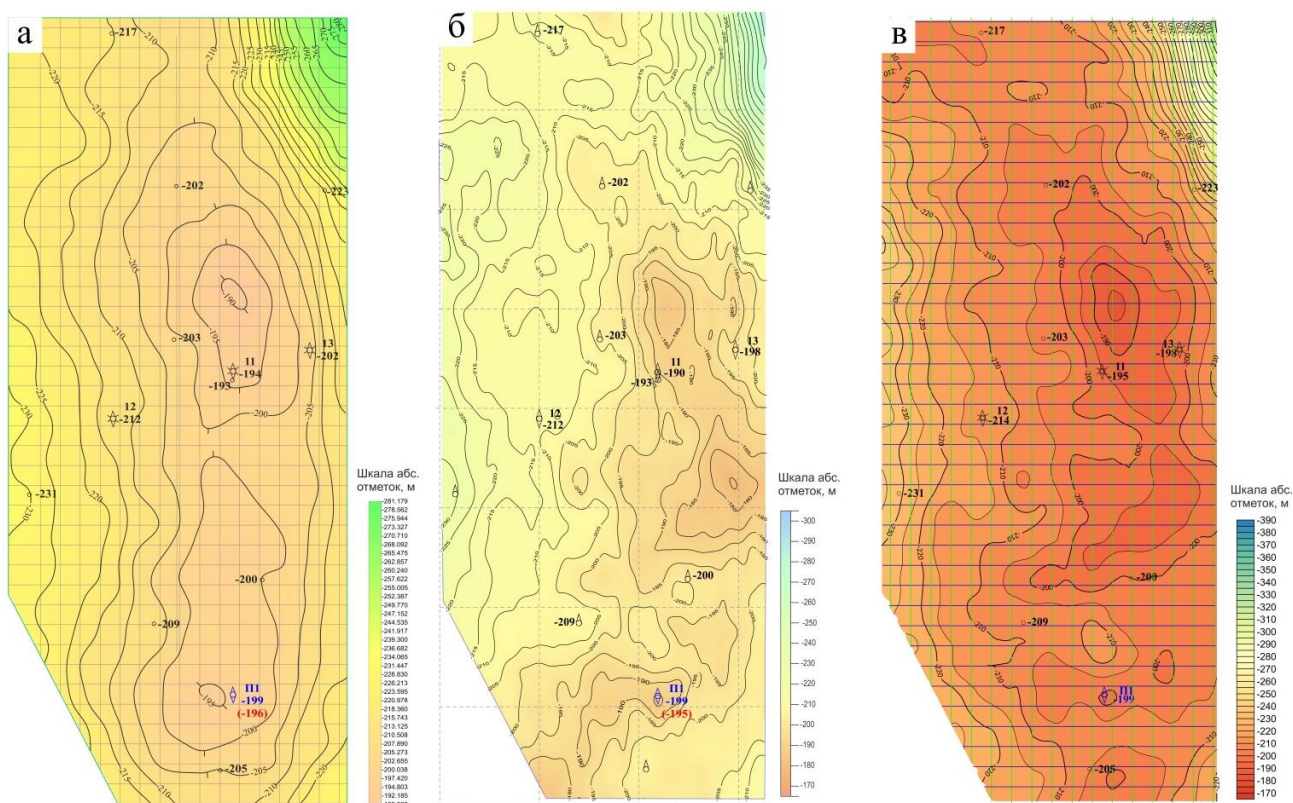


Рис. 6. Структурные карты ОГ К: а – К1, б – К2, в – Результат переинтерпретации

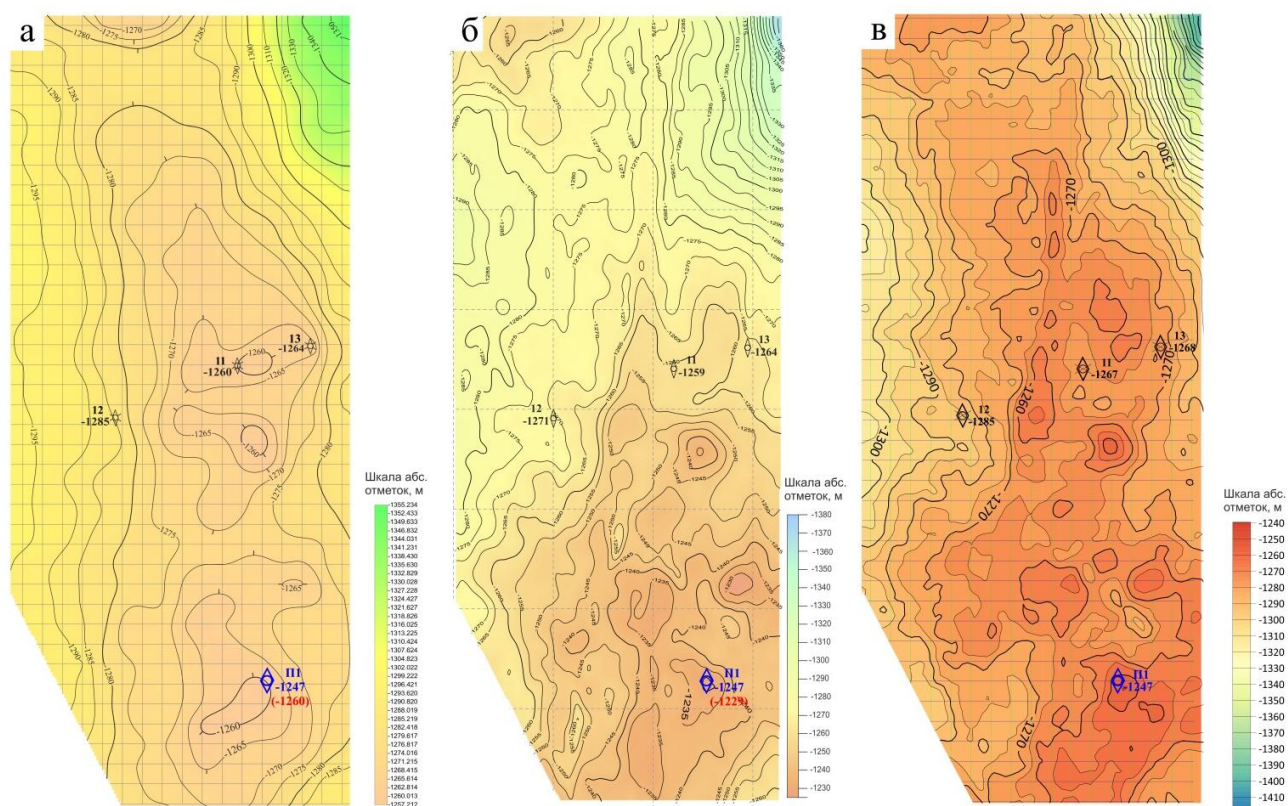


Рис. 7. Структурные карты ОГ П^К: а – К1, б – К2, в – Результат переинтерпретации

Библиографический список

1. *Авербух А.Г., Иванова Н.Л.* Оценка погрешности и надежности сейсмических структурных построений // Недропользование XXI век. Москва, Центральная Геофизическая Экспедиция (ЦГЭ), 2007.
2. *Курашов И.А.* Снижение размера бина при построении сейсмических изображений в ходе полевых работ и обработки данных // Проблемы геологии и освоения недр. Томск, Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 2013.
3. *Спасский Б.А., Герасимова И.Ю.* Сеймостратиграфия: учебно-методическое пособие // Пермь, Издательство ПГУ, 2007.
4. *Спасский Б.А.* Современные тенденции в обработке преломленных волн в сейморазведке // Вестник Пермского университета. 1994. № 3. С. 173.

А.А. Зубриков, С.Б. Карпов, В.П. Колесников
ПГНИУ, ООО «НПО Уралгеопол», za@uralgeopole.ru

О СОВЕРШЕНСТВОВАНИИ МЕТОДА ГРУПОВОГО ЗОНДИРОВАНИЯ НА ОСНОВЕ ФИЗИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Рассмотрен вариант реализации физического моделирования применительно к методам электрического зондирования с учетом особенностей формирования физико-геологической модели на основе современного технологичного наполнителя и апробирования методики группового зондирования с использованием аппаратно-программного комплекса АМС-ЗОНД с расширением функциональных и информационных его возможностей за счет комплексирования измеряемых величин, осуществления контроля и автоматизации измерительно-интерпретационного процесса с привлечением принципа взаимности.

Ключевые слова: электроразведка, физическое моделирование, групповое электрическое зондирование, технология, аппаратно-программный комплекс.

A. A. Zubrikov, S. B. Karpov, V. P. Kolesnikov
Perm State University, NPO Uralgeopole, za@uralgeopole.ru

IMPROVEMENT OF THE GROUP SENSING METHOD BASED ON PHYSICAL MODELING

The article considers the implementation of physical modeling in relation to electric sensing methods, taking into account the peculiarities of forming a physical and geological model based on modern technological filler and testing the group sensing method using the AMS-ZOND hardware and software complex with the expansion of its functional and information capabilities due to the integration of measured values, control and automation level of the measurement and interpretation process with the involvement of the reciprocity principle.

Key words: electrical exploration, physical modeling, group electrical sounding, technology, hardware and software complex.

Одним из важных методологических подходов к обоснованию, развитию и совершенствованию эффективности практического применения электроразведочных методов является разработка и применение различного рода способов физического моделирования электрических полей [2, 7, 9]. Этот способ обеспечивает потенциальную возможность выявления и изучения процессов в моделируемой среде, расширение круга моделей, которыми аппроксимируются геологические структуры при решении многих задач геофизики, оценку влияния различного рода физико-технических факторов, способных оказывать влияние на результаты полевых измерений. Реализация этого требует решения ряда задач, связанных со спецификой используемых для моделирования электроразведочных методов и обоснованием формируемой физической модели с учетом ее особенностей.

Целью данной работы являлось создание и совершенствование физической модели геологической среды с ее апробированием на примере группового зондирования, реализованного на основе аппаратно-программного комплекса АМС-1 [3], в целях решения вопросов, связанных с автоматизацией измерительно-интерпретационного процесса, повышением информативности и расширением функциональных его возможностей.

В качестве отладочного варианта использована физическая модель горизонтально-слоистой среды с возможным наличием различного рода локальных неоднородностей. В целях воссоздания такой модели, максимально приближенной к горизонтально-слоистой геологической среде, был экспериментально разработан и создан бак для 3D моделирования (рис. 1).

Концепцией построения физической модели выступали поиски и модификация материалов и веществ, имеющих различную степень электропроводимости, обладающих статичностью в изменении электропроводных свойств со временем, доступностью, не токсичностью в работе, обладающей мобильностью в перемещении по моделируемому разрезу, сложенными однородными массами и т.д.

Формирование модели выполнялось на основе общих физико-геологических представлений о структуре горных пород. Согласно петрофизическим представлениям любую горную породу можно представить в виде модели, состоящей из трех компонент: минеральный каркас породы, поровое пространство и флюид, наполняющий это пространство.

Для формирования рабочей модели апробирован ряд вариантов. В первом случае в качестве материальной среды использован эластичный пенополиуретан, именуемый в производстве поролоном, обладающий относительно однородной структурой, производящийся с различным коэффициентом пористости (достигающим 80%) и весьма высоким электрическим сопротивлением, выступающий, по сути, в роли каркаса породы с повышенной пористостью. А в роли заполняющего флюида использованы растворы различных электропроводящих веществ с различной степенью их минерализации, позволяющие выбирать различные значения сопротивлений, характерные для тех или иных геологических образований.

Экспериментальные исследования с использованием в качестве флюида растворов различного рода солей: поваренная соль, железный купорос, медный купорос, раствор марганца и др., как и следовало ожидать [3], показали, что достаточно широкий диапазон изменения электрических сопротивлений обеспечивается не составом, а уровнем минерализации соляных растворов. В дальнейшем при проведении экспериментальных работ в качестве наполнителя был использован раствор поваренной соли.

В ходе экспериментальных работ по апробированию этого варианта физической модели был выявлен ряд проблем, связанных, в первую очередь, с нарушением в течении времени стабильности величины электрического сопро-

тивления физической модели среды, что сказывается как на точности параметров формируемой модели, так и на величине переходного сопротивления электродов измерительной установки, снижая уровень результативности данных моделирования. Основной причиной этой проблемы явилось наличие и неравномерность миграции водных растворов в силу повышенного коэффициента пористости поролонa.

В виду этого, по результатам анализа способов возможного снижения данного эффекта был сформирован новый вариант упрощенной физической модели, основанный на использовании песчано-гидрогелевого состава ее элементов. Для формирования модели данный наполнитель, для каждого слоя, помещается в заранее подготовленные емкости из спанбонда. Спанбонд – нетканый материал из расплава полимера, изготовленный фильерным способом.

Гидрогель – это полимерные соединения, изготавливаемое в виде сухого порошка или гранул с последующим наполнением его водным раствором, приводящим к набуханию гранул. Полимер способен поглощать и удерживать огромное количество воды, а также водорастворимых соединений (до 0.5 л на 1 гр. сухого гидрогеля). Влажная его субстанция имеет желеобразное состояние и является максимально приближенной по сопротивлению к насыщающему его к водному раствору. Эта положительная особенность была положена в основу для формирования физической модели.

Процентное содержание песка и гидрогеля при различной минерализации насыщающей его влаги обеспечивают возможность формирования модели с достаточно широким набором электрического сопротивления ее элементов при стабильности определения электрического сопротивления в случае однородной среды и снимая вопрос с плохим заземлением.

Следующей задачей для формирования физической модели являлась необходимость учета влияния стенок бака, ограничивающих область распространения электрического тока (по сравнению с наземной съемкой).

Решение данной задачи было выполнено исходя из физического содержания кажущегося сопротивления, которое, как известно [8], равняется истинному значению удельного сопротивления в случае однородной среды (ρ_0):

$$\rho_k(r) = \rho_0 = K(r) \frac{\Delta U(r)}{I}.$$

Исходя из этого, для снижающего влияние стенок бака с помощью данной формулы определялось значение поправочного коэффициента $K_1(r)$ по измеренным значениям $\Delta U(r)$ при заданной величине тока I и условию постоянного значения получаемого кажущегося сопротивления в случае однородной модели среды $K_1(r) = \rho_0 I / \Delta U(r)$.

Экспериментальные работы по апробированию физического моделирования выполнены с помощью аппаратуры АМС-1, которая является результатом

совместной разработки конструкторского отдела ООО НПО «Интромаг» и сотрудников ПГНИУ [1].

Аппаратура АМС-1 обладает повышенной помехозащищённостью и высокой точностью измерений. Она может применяться при выполнении полевой съемки любым из методов, основанных на гальваническом способе возбуждения и регистрации изучаемого электрического поля. В состав ее входят генератор, измеритель и вспомогательное оборудование (рисунок 1). Генератор предназначен для возбуждения в земле электрического поля заданной частоты. Измеритель выполняет цифровую регистрацию компонент электрического поля заданной частоты, их контроль, визуализацию, хранение и вывод на компьютер результатов измерений.

В целях развития технологии электрического зондирования разработан метод группового зондирования [4, 5, 10], значительно ускоряющий процесс полевых наблюдений. Вместе с тем он обеспечивает потенциальную возможность автоматизации измерительно-интерпретационного процесса на базе разрабатываемого взаимосогласованного аппаратурно-интерпретационного комплекса АМС-ЗОНД с 48 канальным коммутатором для подключения измерительной «косы» и управления процессом съемки с помощью протокола, записываемого в измеритель АМС-1. Реализация этого требует апробирования, отладки и совершенствования данного комплекса, что наиболее просто может осуществляться с помощью физического моделирования.



Рис. 1 – Комплекс АМС-1 с коммутатором КАМС-1 и системой ЗОНД-М

Для апробирования данной технологии сформирован новый вариант формирования протокола, значительно расширяющий функциональные возможности съемки с учетом использования различных методик наблюдений. Проведена адаптация его к условиям физического моделирования. В силу особенностей использования измерительной косы, ограничивающей получение информации о взаимосогласованной эффективной глубине зондирования вдоль профиля наблюдений, выполнено апробирование комплексного использования взаимодополняющих симметричной четырех-электродной и двух встречных трех-электродных установок, расширяющих информационные возможности по обследованию эффективных глубин и выявления зон повышенного проявления различного рода локальных неоднородностей. В целях повышения оперативности съемки предусмотрена возможность проведения измерений с квазигеометрическим шагом приращения разносов зондирующей установки.

Для контроля качества заземления электродов и оценки технического состояния измерительной установки, в протоколе введен также ряд дополнительных измерений с использованием принципа взаимности [6].

Технология измерительного процесса включает: 1) формирование протокола параметров измерений; 2) установка косы с подключением коммутатора и ноутбука с системой ЗОНД; 3) запуск процесса измерений с визуализацией формируемых графиков и разреза кажущихся сопротивлений с контролем качества получаемого материала. После завершения съемки имеется возможность расширенного анализа полученных материалов с количественной их интерпретацией по системе ЗОНД.

Один из примеров апробирования рассмотренной технологии в условиях сформированной трехслойной физической модели среды показал необходимую согласованность получаемых результатов методом группового зондирования с истинными значениями параметров изучаемой физической модели среды в условиях пространства, пространственно ограниченного влиянием стенок бака (рис. 2).

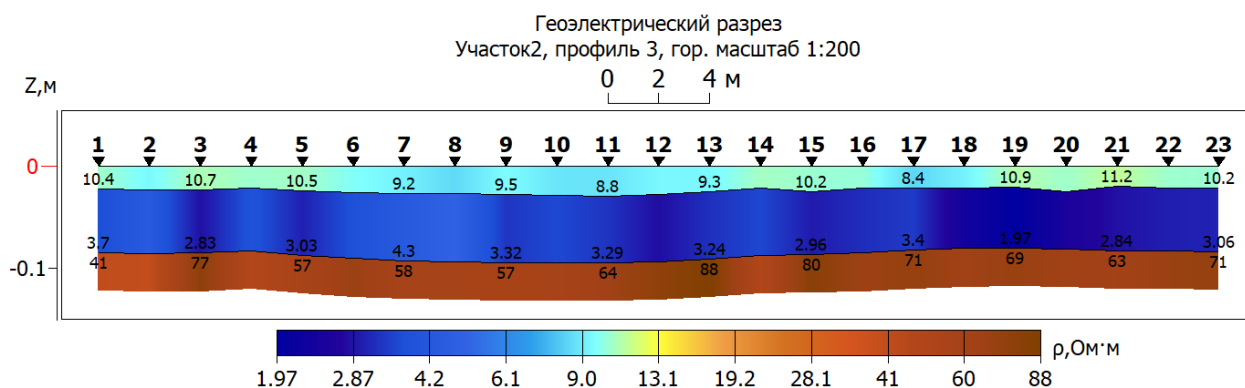


Рис. 2 – Разрез УЭС по результатам эксперимента

В результате выполненных работ были получены следующие результаты:

1) разработан вариант формирования физической модели среды, основанный на использовании песчано-гидрогелевого состава ее элементов, обеспечивающий возможность использования при моделировании достаточно широкого набора электрических сопротивлений при повышенной стабильности их значений и переходного сопротивления заземлений измерительной установки;

2) реализован вариант снижения влияния на результаты моделирования стенок измерительного бака, ограничивающего область распространения электрического тока;

3) на примере метода группового зондирования рассмотрены способы повышения информативности и оперативности измерительно-интерпретационного процесса на основе комплексирования измеряемых величин, контроля результатов съемки с использованием принципа взаимности и автоматизации выполнения работ с помощью аппаратурно-измерительного комплекса АМС-ЗОНД;

4) проведено апробирование полученных наборок на основе физического моделирования для заданной модели среды, показавшее перспективность его применения для совершенствования методов и технологий электроразведочных работ.

Для развития данной технологии ведутся работы по усовершенствованию аппаратуры АМС-1 для выполнения работ с измерением вызванной поляризации в методе группового зондирования (реализованного в аппаратуре АМС-1 для метода ВЭЗ и ЕП) и развитие метода мониторинговых наблюдений на основе анализа результатов применения комплексных взаимодополняющих методик, регистрируемых в автоматическом режиме усовершенствованным методом группового зондирования.

Библиографический список

1. *Аппаратурно-программный комплекс для геоэлектроразведки АМС-1*: пат. 97542 Рос. Федерация: МПК7: G01V3/02 / авторы и патентообладатели Алатов С.А., Батяев И.М., Зеленин В.П., Карпов С.Б., Колесников В.П., Мельников А.К., Татаркин А.В.; 10.09.2010.

2. *Бакумцев А. А., Груздев В. Н., Рассказчикова Н. И.* «Результаты физического моделирования электроразведки методами срединного градиента и вертикального электрического зондирования», ВЕСТНИК ВГУ. СЕРИЯ: ГЕОЛОГИЯ. 2017. № 3

3. *Добрынин В.М., Вендельштейн Б.Ю., Кожевников Д.А.* Петрофизика (Физика горных пород). - М., 2004. – 367с.

4. *Колесников В.П.* «Интерпретация электрических зондирований с использованием системы программ ЗОНД» Изд-во ПГНИУ. Пермь, 2016. 212 с.

5. *Колесников В.П., Ласкина Т.А., Артемьев Д.А.* Многоэлектродные электрические зондирования с использованием инверсионной установки // Инженерные изыскания. 2016. № 2. С. 54-59.

6. *Тихонов А.Н., Самарский А.А.* Уравнения математической физики. – М.: Наука, 1977. – 736 с.

7. *Фильчаков П.Ф., Паньшин В.И.* Интеграторы ЭГДА. Моделирование потенциальных полей на электропроводной бумаге. Академиздат УССР, 1961
8. *Электроразведка: Справочник геофизика.* В 2-х кн. /Под ред. В.К. Хмелевского и В.М. Бондаренко. Кн. I, М.: Недра, 1989, с. 95-110, 174-177.
9. *Колесников В.П.* К обоснованию применения промышленных электромагнитных полей для решения геологоразведочных задач // Вестник Пермского университета. Геология. 2013. № 4 (21). С. 56-61.
10. *Колесников В.П., Ласкина Т.А.* Разработка и реализация метода низкочастотного наземно-подземного зондирования // Вестник Пермского университета. Геология. 2018. Т. 17. № 3. С. 284-291.

¹ А.В. Кузин, ² Р.Р. Маликова

УГГУ, Екатеринбург, kuzin-av@mail.ru,
УГГУ, Екатеринбург, malikova.ruzanna@mail.ru

НЕОТЕКТОНИКА УФИМСКОГО ПЛАТО ПО ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИМ ДАННЫМ

Исследованы высотные отметки продольного профиля р. Уфа на 80-километровом участке, располагающемся на Юрюзанско-Сылвенской депрессии и Уфимском плато, высотные отметки рельефа вне речной долины. Эрозионный врез реки в пределах депрессии 60 м, на плато более 250 м. В депрессии долина реки шириной 3-8 км, форма её трапецевидная, ширина на плато 1 км, форма V-образная. Это свидетельство вздымания плато в неоген-четвертичное время. На обоих структурах установлен комплекс речных террас. Мощность аккумулятивных отложений аллювия в речной долине Уфы достигает 30 м. На р. Иргина, протекающей на плато, молодые террасы эрозионного типа. Палинологические и геохронологические исследования аллювия рек позволяют детально восстановить характер неотектоники в депрессии и на плато.

Ключевые слова: неотектоника, речные террасы, электроразведка

¹ A.V. Kuzin, ² R.R. Malikova

¹Ural State Mining University, Yekaterinburg, kuzin-av@mail.ru,

²Ural State Mining University, Yekaterinburg, malikova.ruzanna@mail.ru

NEOTEKTONICS OF THE UFIMSKY PLATO ON GEOLOGICAL-GEOPHYSICAL DATA

The elevation marks of the longitudinal profile of the river were investigated. Ufa on an 80-kilometer section located on the Yuryuzan-Sylyven depression and the Ufa plateau, the elevation marks of the relief outside the river valley. The erosional incision of the river within the depression is 60 m, on the plateau more than 250 m. In the depression, the river valley is 3-8 km wide, its shape is trapezoidal, the width on the plateau is 1 km, the shape is V-shaped. This is evidence of the uplifting of the plateau in the Neogene-Quaternary. A complex of river terraces is installed on both structures. The thickness of accumulative alluvium deposits in the Ufa river valley reaches 30 m. Irghin, flowing on the plateau, young terraces of the erosional type. Palynological and geochronological studies of river alluvium will make it possible to reconstruct in detail the nature of neotectonics in the depression and on the chambers.

Key words: neotectonics, river terraces, electrical exploration

Не ослабевает интерес разведчиков к нефтеносным структурам в западной части Свердловской области. Из множества научных статей, посвященных перспективам обнаружения в них месторождений нефти и газа отметим одну, самую конкретную, где геолог-геоморфолог С. Л. Княжин [3] выделил несколько десятков купольных и рифовых структур в карбонатно-терригенных отложениях девона, карбона, перми на территории северной части Уфимского свода и примыкающей к ней с востока Юрюзанско-Сылвенской депрессии. На плато А. Ю. Кисин [2] обнаружил в известняках многочисленные кольцевые структуры,

гипогенные минералы, указывающие на активность структуры. Река Уфа пересекает оба структурных элемента (рис. 1). Предпринятый нами анализ морфологии речной долины, геофизические исследования её русловой части и террас позволят прояснить этапы неотектонических движений свода и депрессии, обсудить последние штрихи на картине геологического развития региона.



Рис. 1. Положение геоморфологических профилей через реку Уфа. Ромбиками указаны рифовые постройки высотой до 320-350 м, области с косой штриховкой – площадки выравнивания рельефа с высотными отметками около 300 м

Анализ отметок рельефа за пределами речной долины слева и справа от нее позволяет выделить останцы рифов, поверхности выравнивания (смыва) на глинисто-мергелистых отложениях Юрюзанско-Сылвенской депрессии; площадки, возвышенности, эрозионные врезы притоков Уфы на плато (рис. 2). На участке от Рахмангулово до Красноуфимска высотные отметки рельефа около 250 м указывают наличие поверхности водной эрозии, возраст которой может быть кайнозойским, когда в депрессии существовали реки субмеридионального направления. Эрозионный врез Уфы здесь достигает глубины 50-60 м. Здесь же сохранились небольшие площадки выравнивания с высотными отметками 300 м (рис. 1). Такая же площадка есть к западу от Красноуфимска, на плато, где геоморфологи [1, 4] выделяют более древние (сеноман-сантон) морские осадки: глины, конгломераты.

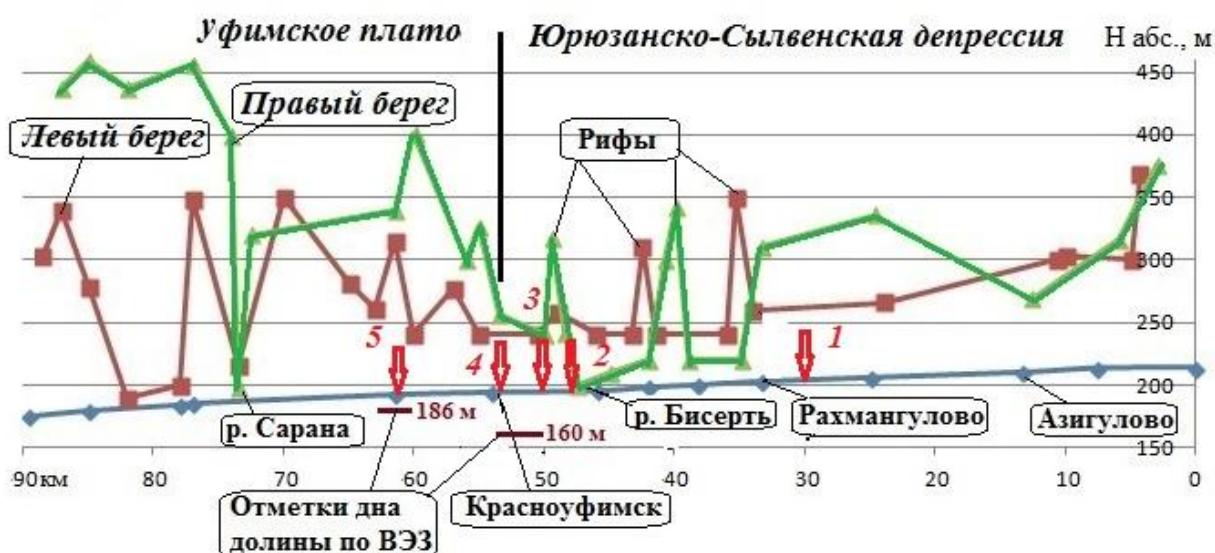


Рис. 2. Продольный профиль р. Уфа, профили рельефа на правом и левом берегах за пределами речной долины

Высотные отметки рельефа на Уфимском плато достигают 350-450 м, эрозийный врез долины Уфы – более 250 м. На 30-километровом участке от Красноуфимска на юг река неоднократно врезалась в известняки плато и снова выходила на восток в терригенно-карбонатную толщу депрессии. Так как река не могла течь в гору, то следует однозначно признать, что при плавном подъеме известняков Уфимского плато на 200 м река их размывала, формируя узкую долину. Однако и в ней уверенно выделяются не менее четырех террас шириной до 40-60м, с высотами уступов 6-16 м (рис. 3). На участке Уфимского плато (в Черкасово) по ВЭЗ абсолютная отметка глубины ложа речной долины 186 м, а в Красноуфимске, в депрессии – по пяти точкам ВЭЗ в русловой части долины – 160 м (рис. 2).



Рис. 3. Вторая терраса с абсолютными отметками высот 207-209 м на левом берегу Уфы в Черкасово. Четыре инженерные скважины глубиной 8 м остановлены в песчано-глинистом аллювии, по ВЭЗ глубина до ложа речной долины 26 м

В Красноуфимске скважина глубиной 26 м на правом берегу реки остановлена в аллювии. Если полагать, что на этапе, когда река формировала эрозионный врез, уровень его был ровный, то Уфимское плато поднялось после этого на 26 м. Время образования эрозии дна долины определить проблематично: после этого происходила аккумуляция осадков: в Красноуфимске мощностью около 30 м, в Черкасово около 15 м.

Ширина речной долины Уфы на плато менее 1 км, глубина вреза в районе Черкасово 100 м (рис. 4). Таковы же параметры речной долины р. Иргина, что начинается и протекает по плато к северу от Красноуфимска. Мощность аллювия на второй террасе на левом берегу реки в Нижнеиргинске, по данным ВЭЗ и скважин, всего 4-5 м. Русло эродировало горизонтально-слоистые известняки иренской свиты. На отметке высот 310 м у реки есть терраса шириной 3 км. Определив возраст террасовых отложений, можно узнать начало времени интенсивного подъема плато.

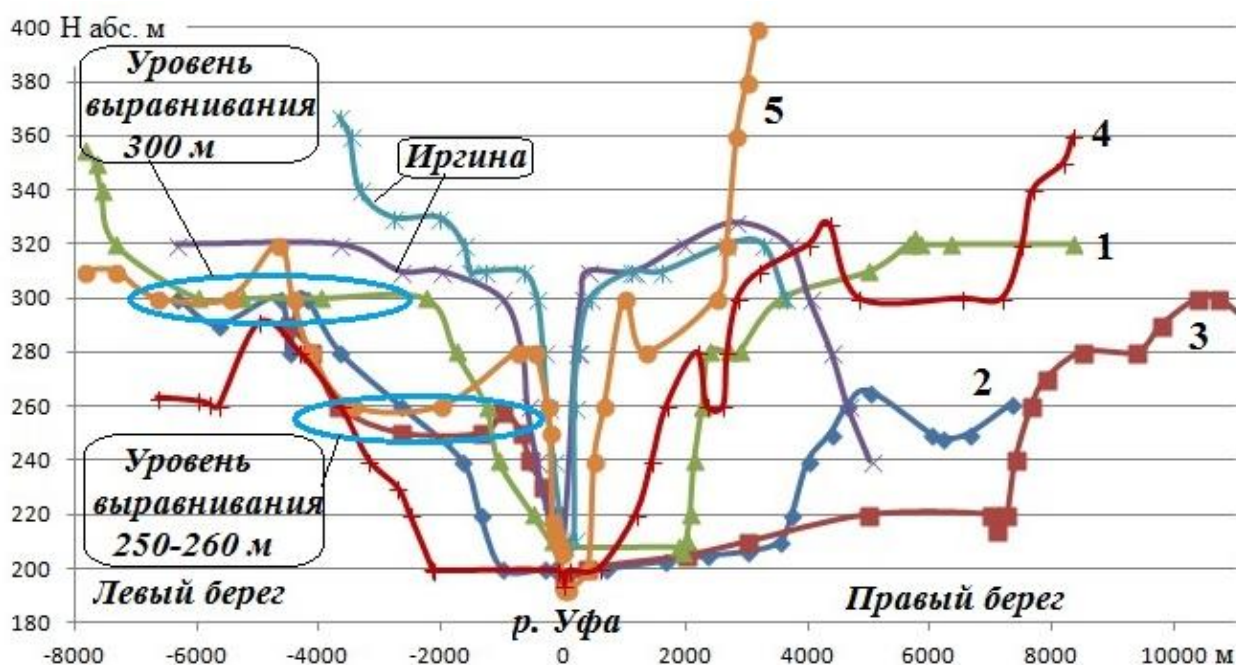


Рис. 4. Отметки рельефа на профилях через долину р. Уфа и долину р. Иргина

Долина р. Уфа на Юрюзанско-Сылвенской депрессии трапецевидная, глубиной вреза порядка 60 м, шириной 2-8 км, с многочисленными меандрами – зрелая долина, типичная для участков реки перед зоной вздымания.

Вывод можно сделать один – о необходимости геоморфологических, палинологических, геохронологических исследований аллювиальных террасовых отложений рек Уфимского плато, что позволит реконструировать ход неотектонических движений на плато и его обрамлении.

Библиографический список

1. *Борисевич Д. В.* К вопросу о возрасте рельефа Среднего Урала и характере молодых тектонических движений // Материалы по геоморфологии Урала. Вып. 1. ГНТИ, М.-Л., 1948. С. 279-304.
2. *Кисин А. Ю., Коротеев В.А.* Блоковая складчатость и рудогенез. Екатеринбург.: ИГГ УрО РАН, 2017. 349 с.
3. *Княжин С.Л., Дручинин С.В.* Перспективы нефтегазопроисловых работ в юго-западных районах Свердловской области // Известия ВУЗов, Горный журнал, Уральское горное обозрение, № 9-10, 1994. С. 17-24.
4. *Сигов В.А.* Новейшая тектоника Среднего и восточной части Южного Урала // материалы по геоморфологии Урала. Вып. 2. Недра, М., 1971. С. 61-73.

СОПОСТАВЛЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ ОСНОВЫ ПО ЛИСТУ Р-40-XXX С ДАННЫМИ ДДЗ ПО ОПОРНОМУ РАЗРЕЗУ

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.

Yu.B. Pyzhyanov
JSC USSE, USMU, Yekaterinburg

COMPARISON OF THE INTERPRETATION MATERIALS OF THE GEOPHYSICAL BASIS ON SHEET P-40-XXX WITH DDS DATA ON THE REFERENCE SECTION

This article devoted a joint interpretation of the geophysical base data with ERS materials is considered in order to understand the possibilities of using these images through various channels in terms of the depth of research and the possibility of clarifying the geological structure.

Key words: Geophysical base, magnetic prospecting, gravity prospecting, 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» [14]. В административном отношении лист расположен частично в Уральском Ф.О. Свердловской области и Приволжском Ф.О. (Пермский край, Красновишерский район) (рис.1).

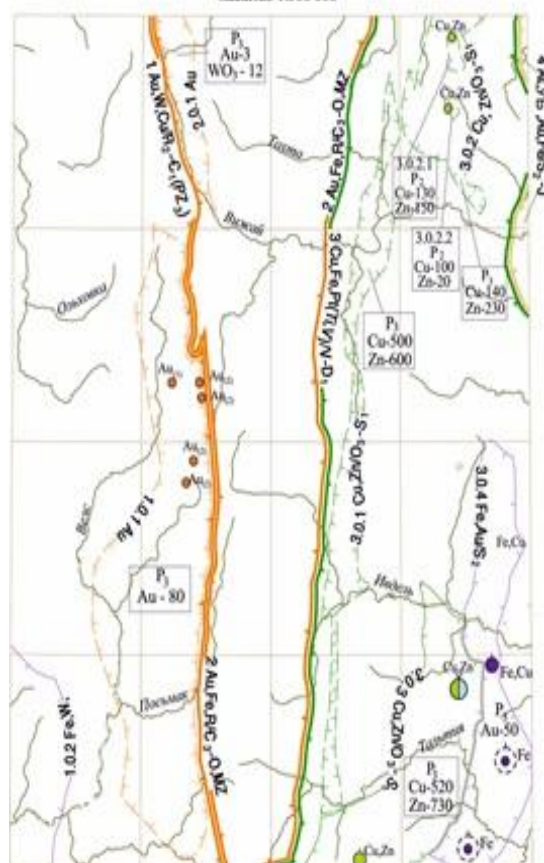
Площадь листа охватывает центральную часть Уральской складчатой системы, в состав которой входят комплексы пород, перспективные на выявление различных полезных ископаемых. В западной части площади известна Ишеримская золото-вольфрамово-золоторудная минерагеническая зона, вмещающая Мартайский прогнозируемый золоторудный узел и группу рудопроявлений вольфрама, цитринов, медно-никелевых руд, см. рис. 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 (Ше-

мурское и Тарньерское) и железорудные (3-й Северный рудник) месторождения и проявления, проявления хромитов, золота. На исследуемой территории известны [2, 8, 13] россыпные месторождения и проявления золота, наиболее крупные из которых приурочены к долинам реки Велс. Глубина изучения в целом по площади составляет не более 50-100 м, но в районах месторождений и рудопроявлений она достигает 800-1000 м (Яхтельинское, Саумское проявления, Тарньерское и III Северное месторождения).



Рис. 1. Схема расположения листа Р-40-XXX (Тухта)

ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ СХЕМА МИНЕРАГЕНИЧЕСКОГО РАЙОНИРОВАНИЯ И
ПРОГНОЗА ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ
(доолитокановые образования)
масштаб 1:500 000



УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

- | | |
|-----------------------------|---|
| 1 Au, W, Cu, R, z-C1 (PZ-3) | Ийерикская железо-вольфрамово-золоторудная минералогическая зона и её возраст |
| 1.0.1 Au | Мартайский золоторудный узел потенциальный |
| 1.0.2 Fe, W, Cu | Шудынский медно-вольфрамово-железорудный узел |
| 2 Au, Fe, W, Cu | Верхнеманьинско-Синегорская радиометалло-железо-золоторудная минералогическая зона и её возраст |
| 2.0.1 Au | Никольский золото-вольфрамовый рудный узел потенциальный |
| 3 Cu, Fe, Pt, Ti, V, W-D1 | Западно-Талийская ванадиево-титановая платино-железо-меднорудная минералогическая зона и её возраст |
| 3.0.1 Cu, Zn, WO3-S1 | Тохтинско-Тальтинская цинково-меднорудная зона потенциальная и её возраст |
| 3.0.2 Cu, Zn, WO3-S1 | Саум-Владимирский цинково-меднорудный узел потенциальный и его возраст |
| 3.0.2.1 Cu, Zn | Саумское цинково-меднорудное поле потенциальное |
| 3.0.2.2 Cu, Zn | Яктылыкское цинково-меднорудное поле потенциальное |
| 3.0.3 Cu, Zn, WO3-S1 | Тарныерско-Шемурский цинково-меднорудный узел |
| 3.0.4 Fe, Au, S2 | Третий Северный золото-железорудный узел |
| 4 Al, U, Fe, S2-J | Центрально-Талийская железо-золоторудная угленосно-бокситовая минералогическая зона и её возраст |
- а) Cu, Zn
б) Au, Fe
- Важнейшие объекты полезных ископаемых и их номера по карте:
а) месторождения; б) проявления
- Малое месторождение железа прогнозируемое на проявления
- P3
Au-80
- Категория и величина прогнозных ресурсов минерального сырья:
для золота в тоннах, для цинка, меди и WO в тыс. т

Рис. 2. Предварительная схема минерагенического районирования листа Р-40-XXX (Тохта) (Останин С.Ю.)

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, что позволяет с высокой степенью детальности расчленить вулканогенные осадочные и интрузивные образования, проследить тектонические нарушения, выделить ореолы рудоносных серицит-кварцевых метасоматитов, обогащенных калием.

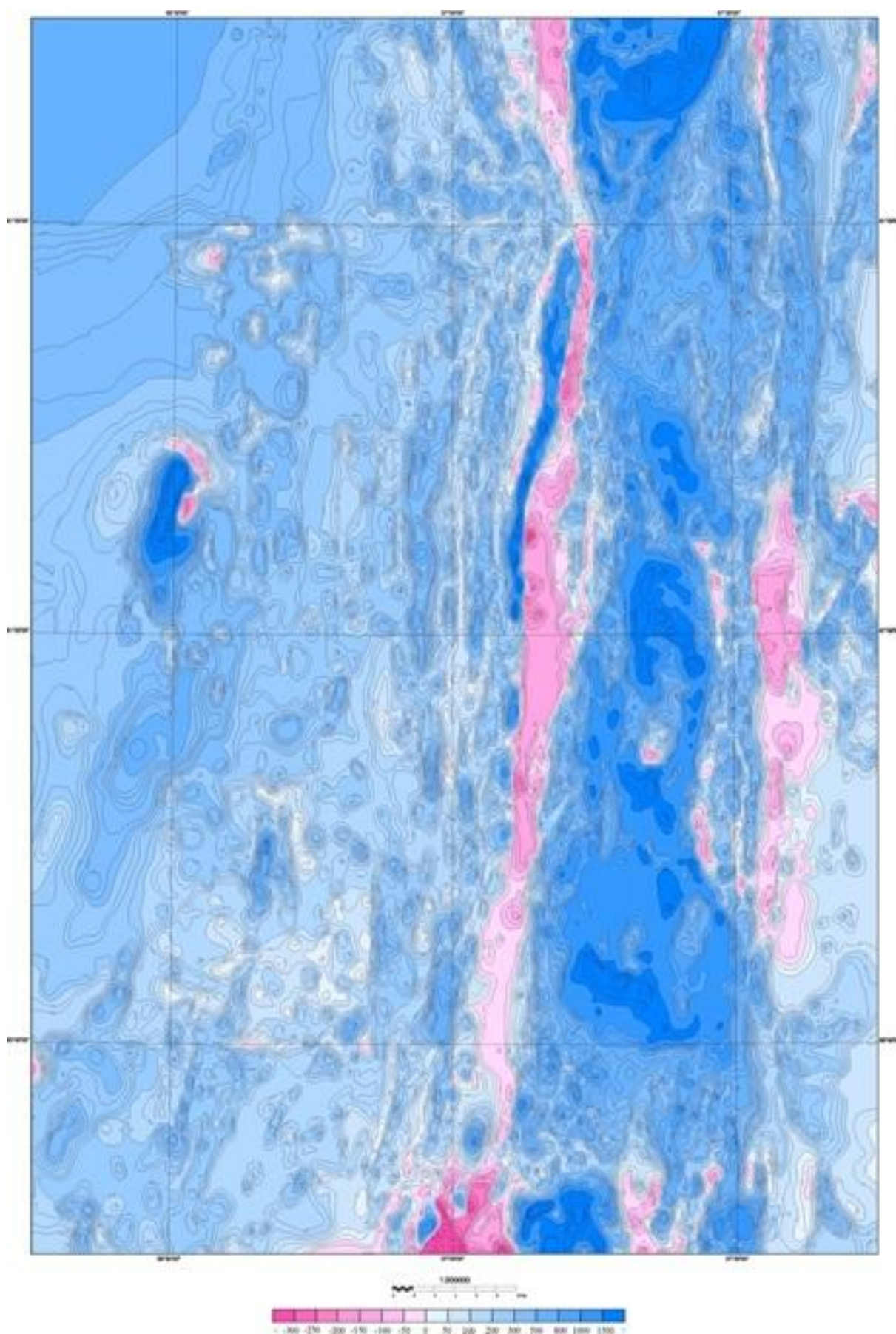


Рис. 3. Карта аномального магнитного поля. Нормальное поле эпохи 1965 г.

Геофизические работы являются доминирующими при поисковых работах на медноколчеданное оруденение. Практически вся полоса зеленокаменных пород 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. 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.

На лист Р-40-XXX имеется схема физических свойств определения плотности горных пород и магнитной восприимчивости по образцам (Степанов А.Е. [9]). В настоящий момент схема дополнена данными, взятыми из отчетов [6,1,3]. На основе этих данных создан геолого-геофизического разрез (рис. 8) и схемы предварительной комплексной интерпретации физических полей (рис. 6 и 7).

Для приведения всех матриц аэромагнитных съемок разных лет, к нормальному полю (1965 года), за основу выбрана матрица материалов Чурсина А.В., рис. 3 [2,10,11].

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 [10].

По рассчитанным матрицам получены карты изолиний радиометрических полей – тория, урана, калия, мощности экспозиционной дозы гамма-излучения (МЭД) [10]. По материалам гамма-съемки составлена карта мощности экспозиционной дозы гамма-излучения (рис. 4).

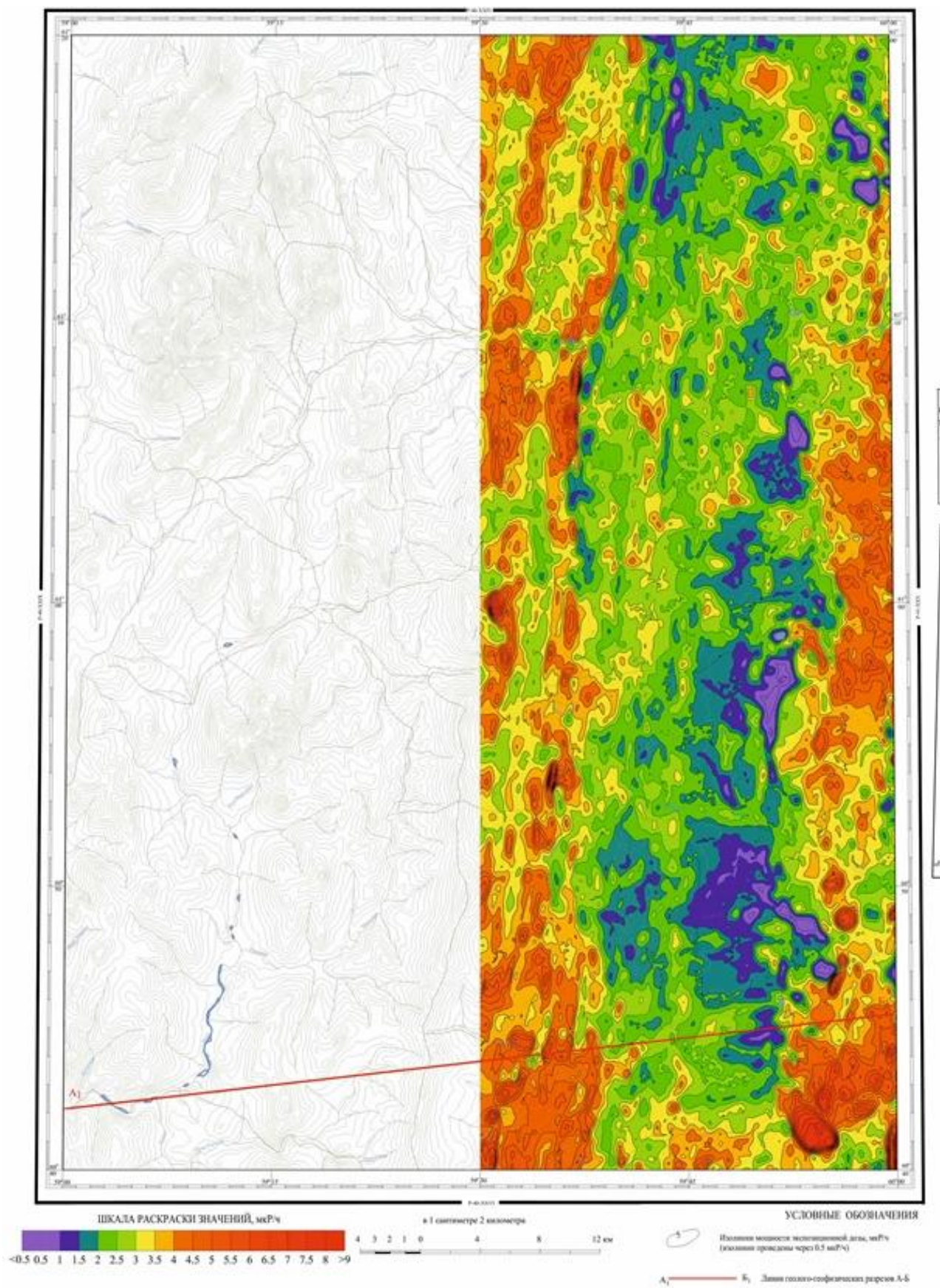


Рис. 4. Карта мощности экспозиционной дозы гамма-излучения

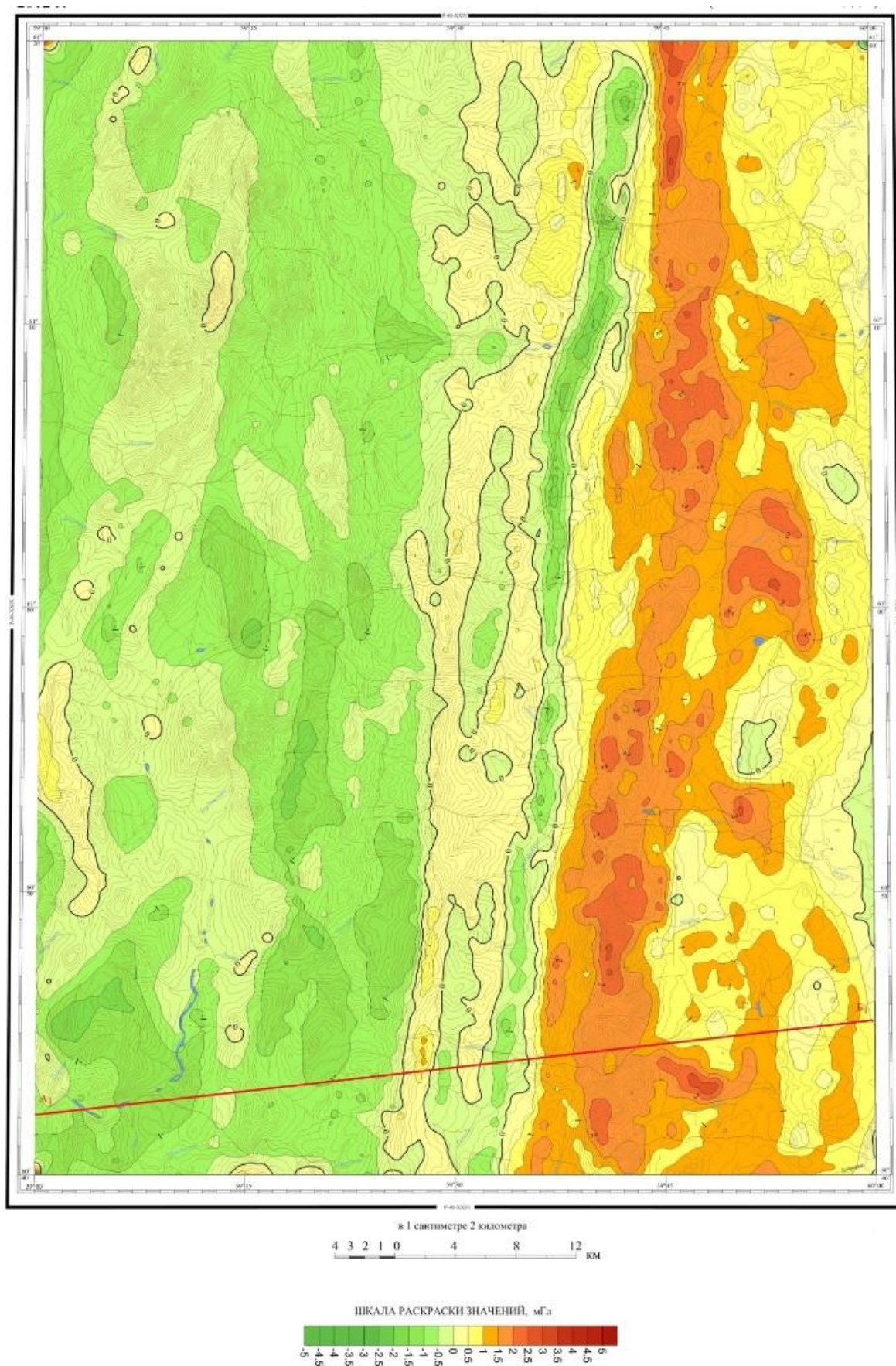


Рис. 5. Карта локальной составляющей поля силы тяжести

Для создания схемы локальных аномалий гравиметрического поля используется Государственная гравиметрическая карта масштаба 1:200 000 (ГГК-200), подготовленная в Баженовской геофизической экспедиции. Карта издана в 1975 году. Сведения об использованном гравиметрическом материале приводятся в геологических отчетах [2,5,13]. 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. [13].

Вычисление локальной составляющей гравиметрического поля с радиусом осреднения 300 м (рис. 5) производилось в программе ГИС INTEGRО с использованием модуля «Геофизика».

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

Материалы физического районирования представлены в полигональной теме, используемой для контуров геологических объектов и в линейной теме, которая является 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.

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 использована таблица физических свойств [9], что позволило выделить литологический состав пород для части контуров, достаточно геологически апробированных. Для решения этой задачи использован модуль MapDisiner (ГИС ArcGis) и эталонная база условных знаков (разработки ВСЕ-ГЕИ) рис. 7.

Материалы линейных тем (линияменты) использованы для выделения тектонических, разрывных нарушений, геологических границ с использованием наиболее совмещенных линияментов полученных по всем полям районирования физических полей. 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 отображен геологический материал.

	<i>S₁₂im</i>	Именновская свита. Известняки, базальты, андезибазальты, андезиты, дациты, риодациты, трахибазальты, туфобрекчин, туфопесчаники, туффиты, алевролиты
	<i>S₁₂pv</i>	Павдинская свита. Базальты, долериты, андезибазальты, андезиты, андезидациты, дациты, риодациты, трахиты, их туфы, брекчин, туфопесчаники, известняки
	<i>O₂S₃sm</i>	Шемурская свита. Долериты, базальты, андезибазальты, андезиты, дациты, риодациты, риолиты, их туфы, туфобрекчин, яшмоды, туфопесчаники, известняки, колчеданные руды
	<i>O₂pl</i>	Польинская свита. Долериты, базальты, дациты, риолиты, сланцы углеродистые, альбит-хлоритовые, альбит-актинолит-эпидотовые
	<i>O₂dm</i>	Хомасинская свита. Сланцы стильномелан-кроссит (актинолит)-альбит-эпидотовые, кварцитопесчаники, гравелиты, метаморфизованные базальты и туффиты
	<i>O₂cv</i>	Саранхапнерская свита. Кварцитопесчаники, гравелитопесчаники, слоистые кварциты, сланцы хлорит-мусковит-кварцевые, метадолериты, metabазальты
	<i>R₁cv</i>	Чувальская свита. Метаморфизованные базальты, их туфы, сланцы хлорит-серпичит-кварцевые, углеродисто-хлорит-серпичит-кварцевые, известняки, кварцитопесчаники
	<i>R₁vl</i>	Велсовская свита. Доломиты, известняки, сланцы хлорит-серпичит-кварцевые, филлиты, кварцитопесчаники
	<i>R₁ls</i>	Ишеримская свита. Кварцитопесчаники, кварциты, гравелиты, конгломераты, сланцы углеродисто-серпичит-кварцевые, серпичит-кварцевые, кварцитопесчаники
	<i>R₁mo</i>	Мойвинская свита. Известняки, доломиты, мраморы, сланцы альбит-серпичит-кварцевые, углеродисто-хлорит-серпичит-кварцевые, кварцитопесчаники
	<i>S₃</i>	Северорудничный комплекс габбро-диорит-плагиигранитовый
	<i>S₃tk</i>	Тагил-кытлымский комплекс габбро-диоритовый
		Границы между разновозрастными геологическими образованиями - достоверные
		Границы между разновозрастными геологическими образованиями - предполагаемые
		Границы фацальных и литологических подразделений одного и того же возраста
		Разрывные нарушения - достоверные
		Разрывные нарушения - предполагаемые

Рис.7. Геологическая легенда

Перспективной на обнаружение медно-колчеданного оруденения, можно считать зону, вытянутую в меридиональном направлении, от южной рамки листа. Рис. 6.

Для создания геолого-геофизического разреза использована программа Oasis: GM-SYS модуль моделирования для подбора гравиметрического поля с учетом физической характеристики плотности горных пород для точек, где взяты образцы, находящихся на линии профиля. По матрицам магнитного, гравитационного полей и рельефа местности на лист Р-40-XXX по линии профиля А1-Б1, который совпадает с линией СР 80-89 ранее проведенных сейсморазведочных работ Дружинина В.С. из Баженовской геофизической экспедиции, 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.

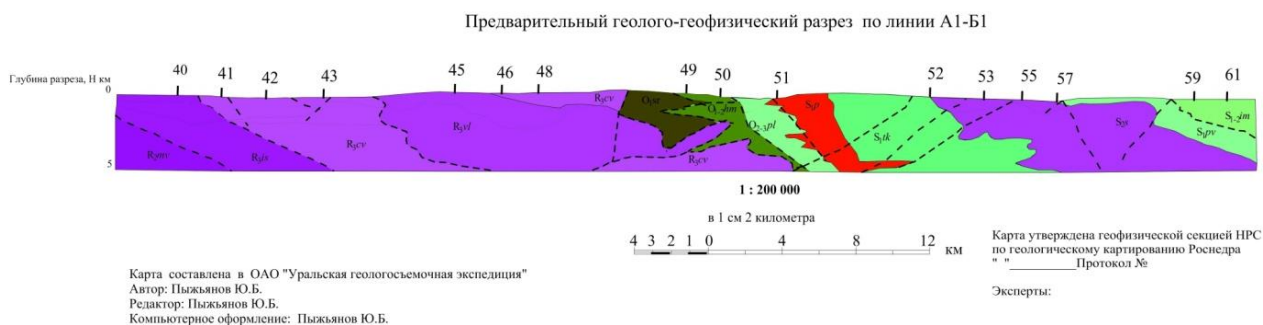


Рис. 8. Схема глубинного разреза по профилю А1-Б1

Для повышения геологической достоверности данной модели использованы геолого-геофизические Дружинина В.С., (рис. 9) построенные по данным МОВ и решения прямой задачи по магнитному полю с использованием алгоритма Корчагина И.Н. (г. Киев [12].). Масштаб выполненных работ позволяет в общих чертах уточнить разрез геологического строения, но, тем не менее, видны некоторые закономерности в положении магнитоактивных блоков и площадок отражения волн с разрезом, рассчитанным по плотности горных пород.

Рассмотрение материалов ранее проведенных работ и сравнение их с моделью, рассчитанной по петроплотностному разрезу в программе Oasis, позволяет выделить общие характерные элементы разреза и построить геолого-геофизическую модель, в которой отражены глубинные элементы геологического строения. Данная модель геолого-геофизического строения представлена на рис. 8.

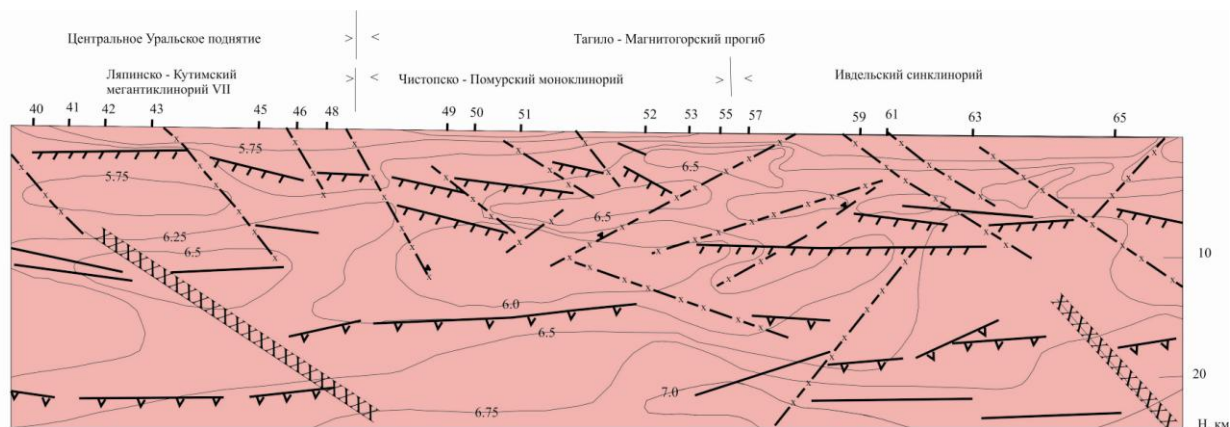


Рис. 9. Схема глубинного разреза по профилю А1-Б1

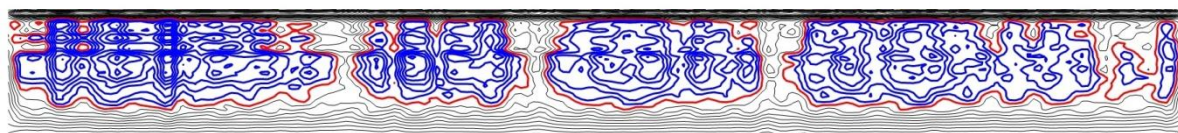


Рис. 10. Схема глубинного разреза по профилю А1-Б1, по ДЗЗ

Далее по профилю А1-Б1 построен разрез (рис. 10) по данным обработки дистанционного зондирования в ERDAS [15] для прослеживания особенностей Шемурской свиты, с возможностью привлечения ДЗЗ для совместной обработки геофизических данных [16].

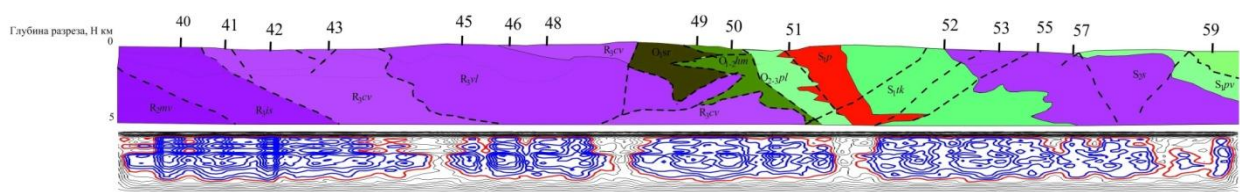


Рис. 11. Наложение разреза по ДЗЗ с фильтрацией входных данных по Гауссу

Для того чтобы увидеть особенности ДЗЗ, присущие для выделения гидротермальных зон, вмещающих колчеданные месторождения, выполнено наложение разреза по ДЗЗ с фильтрацией входных данных по Гауссу (рис. 10) и рассчитанного геолого-геофизического разреза (рис. 9), что показано на рис. 11. Следует иметь ввиду, что Щемурское медноколчеданное месторождение находится к югу от точки 51 на рисунке 6 и достаточно убедительно видно, что на ДЗЗ (рис. 11) эта зона светит, то есть имеет повышенные значения интенсивности излучения, что может быть использовано для выделения гидротермальных зон. Тоже самое можно сказать и других рудопроявлениях, расположенных в восточной части разреза. Смотреть 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., Горонович 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 Виная на Северном Урале, в Ивдельском районе Свердловской области и Красновишерском районе Пермской области за 1976-1982 годы. Инв. № ТГФ 37088.
4. *Аблизин Б.Д.* Отчет Мойвинской партии о поисково-съёмочных работах, проведенных на западном склоне Северного Урала в бассейне рек Вишеры, Мойвы в 1963-1965 гг. Инв. № ТГФ 30767.
5. *Каретин Ю.С., Ананьева Е.М.* Объяснительная записка к структурно-формационной карте магматических образований Тагильского мегасинклинория масштаба 1:200 000. Отчет по теме Щемурского отряда партии региональной геологии и партии региональной геофизики, выполненной в 1976-1979 гг. Сводная карта. Инв. № ТГФ 35827.
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. *Пестрецов С.Г.* Геологическое доизучение масштаба 1:50000 Саумской площади в пределах листов Р-40-96-Г, Р-40-108
8. *Петров Г.А., Ильясова Г.А., Останин С. Ю.* Отчет ГДП-200 в пределах Северо-Уральской площади (лист Р-40-XXXVI) за 2003-2006 г. Екатеринбург, 2006.
9. *Степанов А.Е., Веприков С.Е., Сулов 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
10. *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).

11. Чурсин А.В., Халымбаджа И.Г. Отчет о комплексной аэромагнитной и аэрогаммаспектрометрической съемке масштаба 1:10000 на Елизаветинской и Ниолсской площадях в 1980-1982 годах
12. Методы автоматизированного подбора и их использование при интерпретации геофизических данных. Электронный ресурс. Точка доступа: <http://earthpapers.net/metody-avtomatizirovannogo-podbora-i-ih-ispolzovanie-pri-interpretatsii-geofizicheskikh-dannyh>
13. 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.
14. Пыжьянов Ю.Б. Объяснительная записка к Геофизической основе Государственной геологической карты Российской Федерации Масштаб 1:200000 Лист Р-40-XXX (Тохта). Екатеринбург 2013
15. Пыжьянов Ю.Б. Использование геофизических данных и данных дистанционного зондирования для решения задач геологического картирования. Проблемы минералогии, петрографии и металлогении. Научные чтения памяти П.Н.Чирвинского. Пермь 2020. № 23. С.268-271
16. Пыжьянов Ю.Б. Использование современных программных продуктов при создании геофизической основы по листу Р-40-XXX. Геология и полезные ископаемые Западного Урала. Пермь 2020. № 3(40). С.158-168
17. Долгаль А.С. Совершенствование методов количественной интерпретации геопотенциальных полей // Вестник Пермского университета. Геология. 2012. № 4 (17). С. 47-55.

Ю.И. Степанов¹, А.А. Тайницкий¹, А.В. Горожанцев²

¹Горный институт УрО РАН, Пермь, stepanov@mi-perm.ru

²ПГНИУ, Пермь, gav@psu.ru

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗУЧЕНИЯ ПРИПОВЕРХНОСТНОЙ ГИДРОСФЕРЫ МЕТОДАМИ ЭЛЕКТРОМЕТРИИ

Приведены результаты исследований приповерхностной части разреза методами электрометрии на участке нефтяного месторождения. Построены разрезы кажущихся сопротивлений и геоэлектрические разрезы. Дана характеристика общей минерализации подземных вод вблизи наблюдательной гидрогеологической скважины. Определены возможные причины засоления подземных вод в приповерхностной части разреза на исследуемом участке месторождения.

Ключевые слова: гидросфера, подземные воды, электрометрия, геоэлектрический разрез, минерализация, наблюдательная скважина, засоление подземных вод.

RESULTS OF STUDYING THE SURFACE HYDROSPHERE BY ELECTROMETRY METHODS

Y.I. Stepanov¹, A.A. Tainitsky¹, A.V. Gorozhantsev²

¹Mining Institute UB RAS, Perm, Russia, stepanov@mi-perm.ru

²Perm State University, Perm, Russia, gav@psu.ru

The results of studies of the near-surface part of the section by electrometry methods at the site of the oil field are presented. Sections of apparent resistances and geoelectric sections are constructed. The characteristic of the total mineralization of underground waters near the observation hydrogeological well is given. The possible causes of salinization of underground waters in the near-surface part of the section in the studied field area are determined.

Key words: hydrosphere, groundwater, electrometry, geoelectric section, mineralization, observation well, salinization of groundwater.

В данной публикации представлены результаты электроразведочных исследований методами вертикального электрического зондирования (ВЭЗ) и естественного поля (ЕП), выполненных лабораторией наземной и подземной электрометрии ГИ УрО РАН на участке нефтяного месторождения расположенного в Осинском районе Пермского края. Работы выполнены в рамках мероприятий по улучшению состояния приповерхностной гидросферы на отдельных участках нефтяных месторождений ООО «Лукойл-Пермь» с целью определения засоления подземных вод в зоне активного водообмена, что в настоящее время является достаточно актуальным [2, 4, 8].

Объект исследования представлен горными породами в радиусе 300 м до глубины порядка 80 м относительно устья имеющейся на участке наблюдательной гидрогеологической скважины 301-НГ, расположенной в 25 м севернее нефтяной скважины.

Описание пород разреза пройденного скважиной на изучаемом объекте приведено в таблице 1.

Таблица 1 - Характеристика пород

№ п\п	Описание пройденных пород	Мощность пласта, м	Глубина подошвы пласта, м
1	2	3	4
1	ПРС	0,25	0,25
2	Рыхлая глина	6,75	7
3	Глина с песком и гравием	7	14
4	Гравий	13	27
5	Плотная глина	4	31

Схема расположения точек ВЭЗ в пределах исследуемого участка, представляемая двумя взаимно перпендикулярными линиями (профили 1-2 и профили 3-4), приведена на рисунке 1.

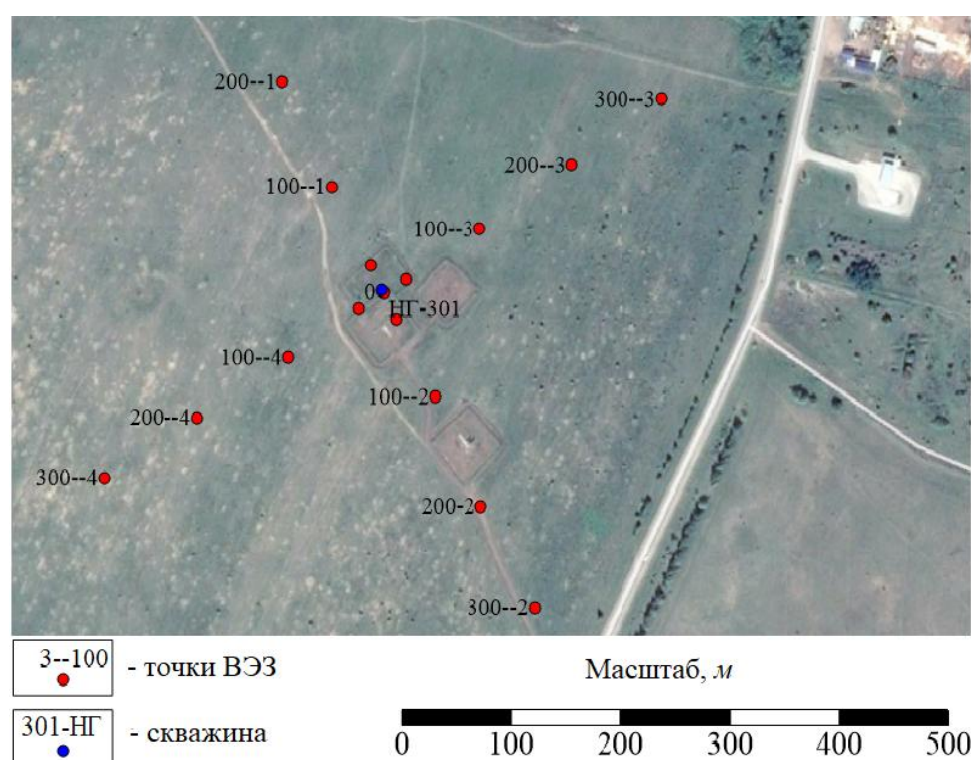


Рис. 1. Схема наблюдений на участке исследования

Здесь в обозначении, например 3--100, первая цифра указывает номер профиля, а число 100 показывает удаление точки ВЭЗ от устья наблюдательной скважины в метрах.

Полевые наблюдения выполнены с применением электроразведочной аппаратуры метода сопротивлений АМС-1. С характеристикой данного аппаратурно-программного комплекса подробно можно ознакомиться на официальном сайте ООО «НПО УралГеоПоле» [3]. Для наблюдений использовалась четырёхэлектродная симметричная электроразведочная установка АМНВ [5], поддерживаемый ток в питающей линии составил 100 мА.

По результатам исследования методом ВЭЗ построены планы изоом кажущихся сопротивлений ρ_k (КС), характеризующие изменение электрических свойств объекта исследования (рис. 2).

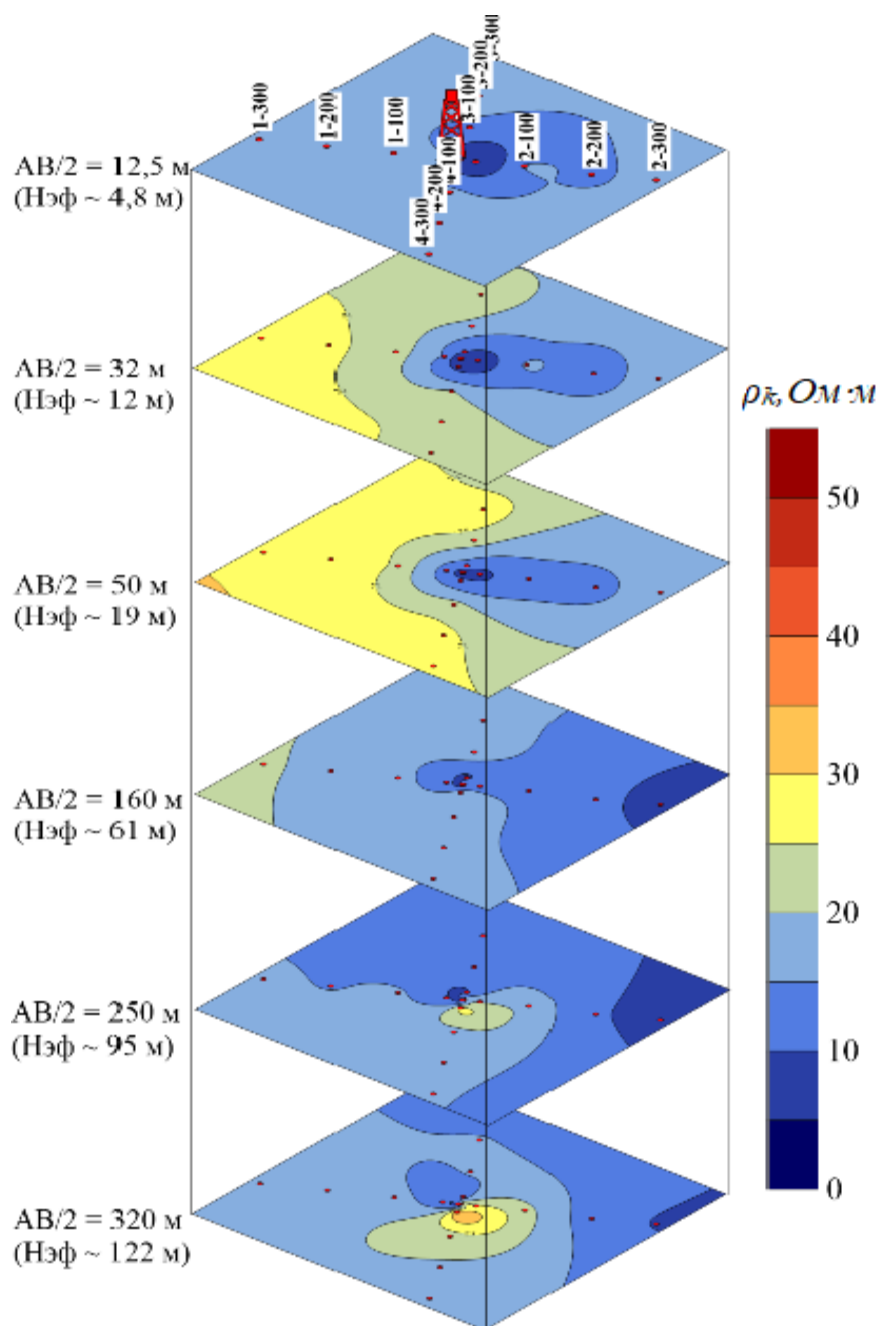


Рис. 2. Планы изоом кажущегося сопротивления

На плане изоом соответствующем эффективной глубине проникновения электрического поля 4,8-5 м для большей части исследуемого объекта распределение значений КС достаточно однородно (в пределах 15-17 Ом·м), что вполне типично в глинистых отложениях. В центральной же его части (район скважины 301-НГ) выделяется область пониженных сопротивлений вытянутая в юго-восточном направлении вдоль профиля 1-2 между т. ВЭЗ 1-25 и 2-200. Значения КС варьируют в диапазоне от 4-5 Ом·м в центральной части (вблизи скважины) до 13-14 Ом·м в периферийной части участка.

С увеличением глубины в интервале $H_{эф} \sim 12-19 \text{ м}$ отмечается рост сопротивлений до значений 25-30 Ом·м. Данные глубины соответствуют отложениям пород, описание которых дано в столбце 2 таблицы 1. Область пониженных сопротивлений также прослеживается в центральной и юго-восточной части ис-

следуемого участка, а значения КС имеют то же порядок величин как для $H_{эф} \sim 4,5-5$ м.

Дальнейшее увеличение глубины исследования сопровождается общим снижением значений КС, связанное с влиянием глинистых пород. Область пониженных сопротивлений с ростом глубины постепенно меняет свою конфигурацию, захватывая юго-восточную и северо-восточную части исследуемого участка ($H_{эф} \sim 95$ м), и на плане изом $H_{эф} \sim 122$ м разбивается на две области центральную и периферийную. Область пониженных сопротивлений в центральной части участка сопряжена с аномалией высоких сопротивлений, которая, на наш взгляд, не имеет практического значения и вызвана локальным искажением кривых ВЭЗ на больших разносах из-за наличия субвертикальной проводящей зоны.

На рисунке 3 приведены разрезы КС и геоэлектрические разрезы согласно представленной схеме наблюдений (рис. 1) построенные по двум взаимно перпендикулярным линиям наблюдений (профиль 1-2 и профиль 3-4) на этапе компьютерной интерпретации данных электроразведки с использованием пакета программ IPI-1D разработанного на кафедре геофизики геологического факультета МГУ. Составленные геоэлектрические разрезы представлены четырех и пятислойными электрическими моделями, отображающими изменение электрических свойств отложений, залегающих в интервале глубин от поверхности, примерно, до $90 \div 120$ м. Видно, что значения удельных электрических сопротивлений (УЭС) изменяется в диапазоне от первых единиц до 14 и более ом-метров. Следует заметить, что вертикальная ось на разрезах представлена значениями альтитуд в метрах с учётом отношения $H_{эф} \approx AB/6$, что позволяет строить разрезы КС с учётом абсолютных отметок рельефа (Alt) в метрах в точках ВЭЗ [6, 7].

В верхней части разреза первые два слоя имеют относительно невысокие УЭС и отождествляются с рыхлыми глинистыми отложениями (табл. 1). Наиболее низкие значения УЭС для данного интервала прослеживаются в центральной части участка на профиле 1-2 между т. ВЭЗ 0 и 2-25.

Ниже по разрезу выделяется подстилающий геоэлектрический слой сложенный глинисто-песчано-гравийными и гравийными отложениями, имеющий относительно более высокие значения сопротивлений в диапазоне 50-55 Ом·м. Мощность данного слоя составляет порядка 25-30 м. В центральной части УЭС данного слоя снижается до уровня 12-30 Ом·м.

Ещё ниже по разрезу следует водоносный горизонт. Электрическое сопротивление данного горизонта находится в пределах первого десятка ом-метров. Наиболее низкие значения УЭС наблюдаются на профиле 1-2 в интервале между т. ВЭЗ 1-100 и 1-25 (юго-восточное направление) до устья скважины на расстоянии, примерно 50 м, а на Профиле 2-3 примерно от положения скважины до т. ВЭЗ 3-300 (северо-восточное направление).

Ниже по разрезу следует водоносный горизонт. Электрическое сопротивление данного горизонта находится в пределах первого десятка ом-метров.

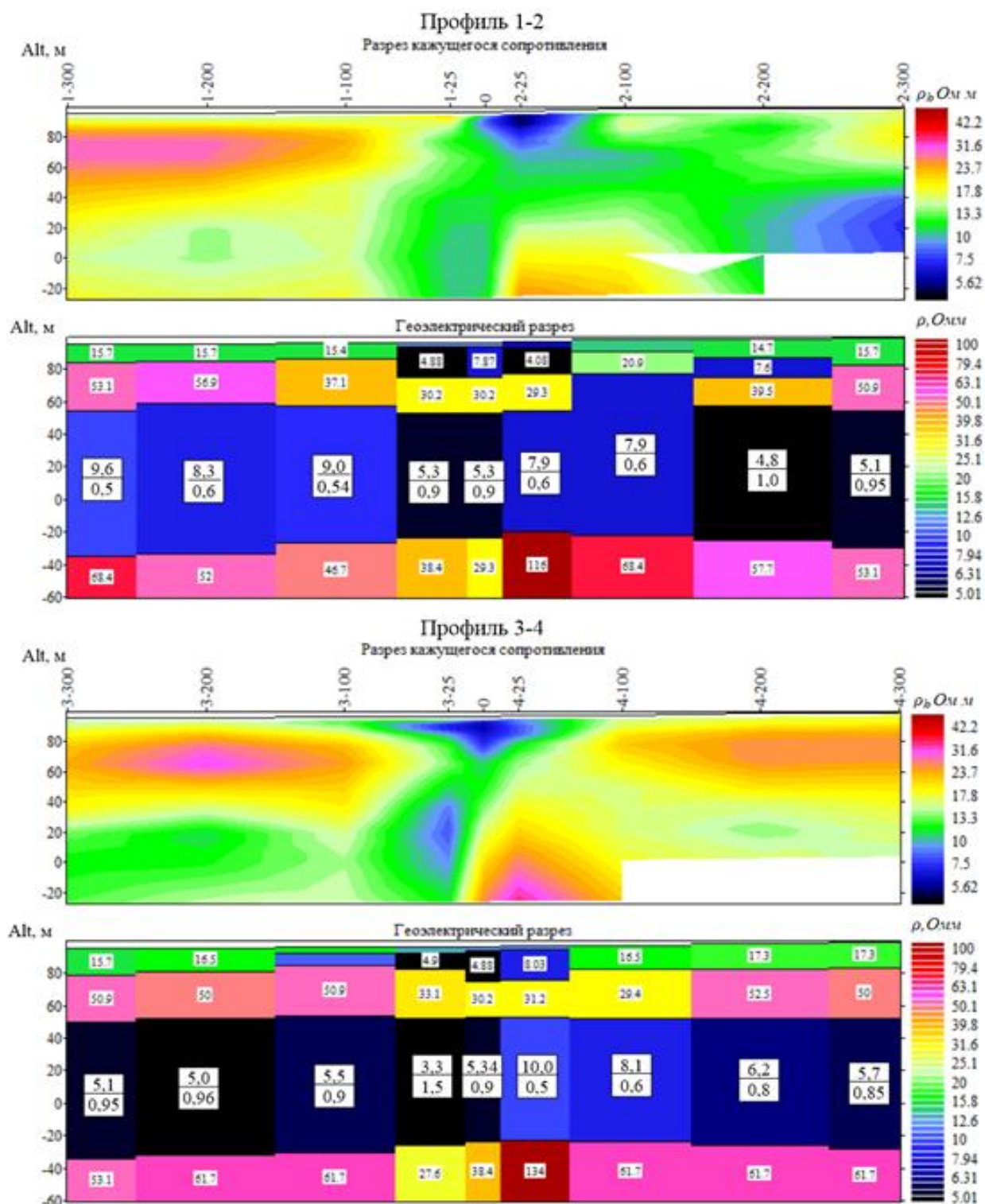


Рис. 3. Разрезы кажущихся сопротивлений и геоэлектрические разрезы по линиям наблюдений профиль 1-2 и профиль 3-4

Наиболее низкие значения УЭС наблюдаются на профиле 1-2 в интервале между т. ВЭЗ 1-100 и 1-25 (юго-восточное направление) до устья скважины на расстояние, примерно 50 м, а на профиле 2-3 примерно от положения скважины до т. ВЭЗ 3-300 (северо-восточное направление).

Нижний электрический горизонт, который выделяется в интервале абсолютных отметок минус 20-40 м (около 110 – 130 м по глубине) в разрезе является опорным с удельными электрическими сопротивлениями 50-65 Ом·м.

В центральной части профилей 1-2 (т. ВЭЗ 1-25 – 0) и 3-4 (т. ВЭЗ 3-25 – 0) как на разрезах КС, так и на геоэлектрических разрезах, выделяется сквозная субвертикальная область пониженных сопротивлений.

На рисунке 4 приведена схема общей минерализации выделенного в разрезе водоносного горизонта полученная по измерениям методом естественного поля (ЕП) согласно вышеописанной схеме наблюдений.

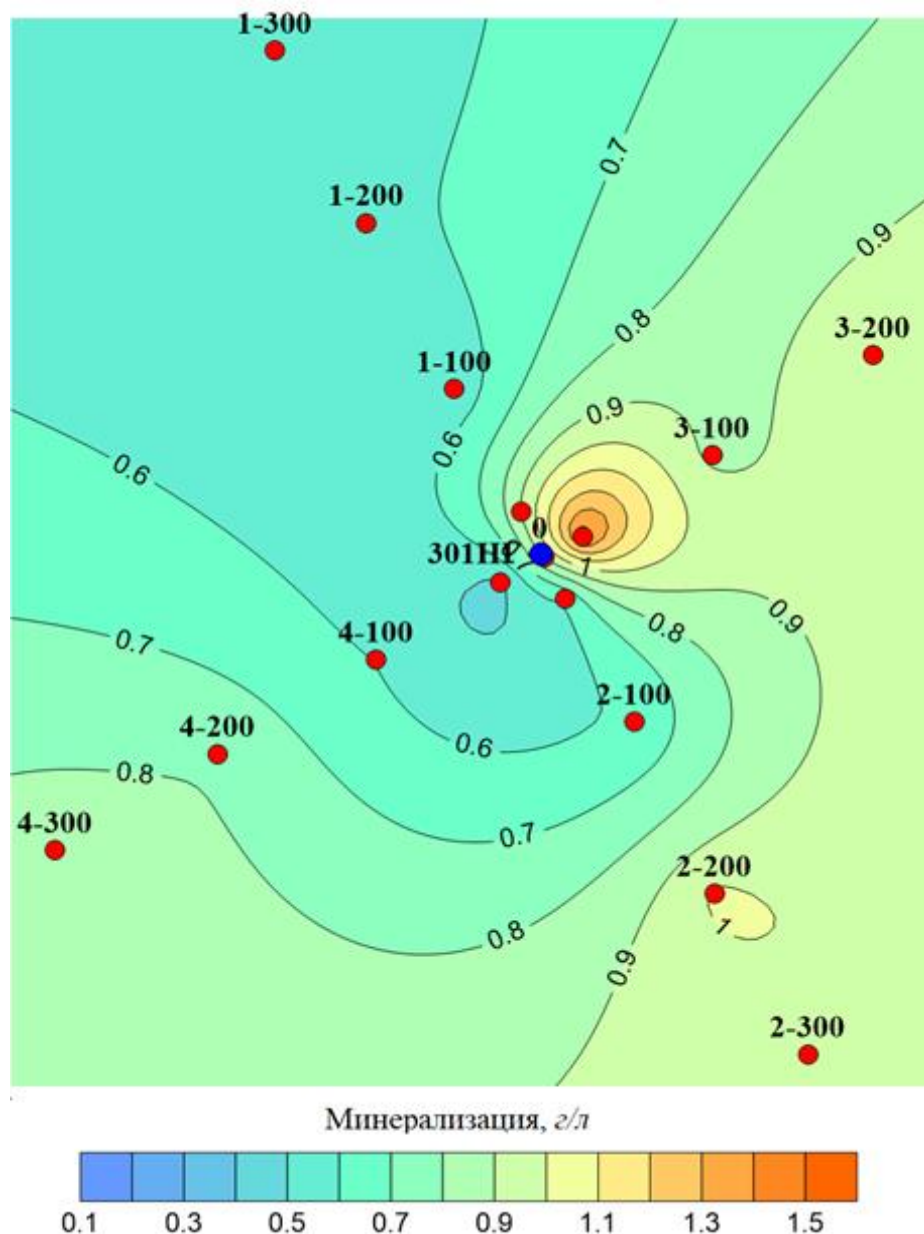


Рис. 4. Схема общей минерализации водоносного горизонта

Из схемы видно, что значения минерализации варьируют в диапазоне 0,5-1,5 г/л. Наибольшие значения минерализации 0,9-1,5 г/л отслеживаются в центральной части (в районе скважины 301-НГ), юго-восточной части участка (вдоль Профиля 1-2), а также северо-восточной (вдоль профиля 3-4). Как было отмечено ранее, в центральной части как на разрезах КС, так и на геоэлектрических разрезах, выделяется субвертикальная область пониженных сопротивлений, связанная как с загрязнением с поверхности, так и с разгрузкой минера-

лизованных вод с нижележащих горизонтов.

Библиографический список

1. Колесников В.П. Основы интерпретации электрических зондирований. - М.: Научный мир, 2007. - 248 с.
2. 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.
3. Комплекс АМС-1 // ООО «НПО Уралгеополе»: [сайт]. URL: <http://uralgeopole.ru> (дата обращения: 18.04.2021).
4. 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.
5. Справочник геофизика. Электроразведка. Т. 1–2. – М.: Недра, 1990.
6. Степанов Ю.И., Костарев С.М., Горожанцев А.В. Изучение состояния приповерхностной гидросферы методами электрометрии // Геология и полезные ископаемые Западного Урала / под общ. ред. Красильникова П.А.; Перм. гос. нац. исслед. ун-т. - Пермь, 2020. № 3 (40). С. 193-200.
7. 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.
8. 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.
9. Бычков С.Г., Катаев В.Н., Митюнина И.Ю., Степанов Ю.И. Разработка комплекса геолого-геофизических методов для выделения водообильных участков // Вестник Пермского университета. Геология. 2018. Т. 17. № 4. С. 379-385.
10. Шестов И.Н., Шувалов В.М. Инженерно-гидрогеолого-геофизический мониторинг и характеристика лечебных и промышленных минеральных вод на закарстованных территориях Пермского края // Вестник Пермского университета. Геология. 2012. № 3 (16). С. 87-96.

О ПРИВЯЗКЕ ПО ГЛУБИНЕ КРИВЫХ МЕТОДОВ ГИС

В работе рассмотрены причины несовпадения глубин аномалий кривых зарегистрированных симметричными методами от одного объекта в скважине. Рассмотрены ограничения на возможность привязки разных по своей природе методов геофизических исследований скважин (ГИС). Показана необходимость повышения детальности регистрации стандартных ГИС. Перечислены требования к компетентности интерпретатора осуществляющего привязку. Описаны способы определения корректных глубин при каротаже. Описана методика и алгоритмы ручной привязки кривых ГИС интерпретатором. Описаны критерии корректности привязки кривых. Настоящая статья написана в рамках создания программного модуля автоматической привязки кривых по глубине в системе «Прайм» (г. Уфа).

Ключевые слова: ГИС, каротаж

A.N. Nekrasov^{1, 2}
Perm state University, PJSC "Permneftegeofizika", nekrasov@pngf.pro

ABOUT BINDING THE DEPTHS OF WELL LOGGING CURVES

The paper considers the reasons for the discrepancy between the depths of the anomalies of the curves recorded by symmetric methods from one object in the well. The restrictions on the possibility of linking different in nature well logging methods are considered. The necessity of increasing the detail of registration of standard GIS is shown. The requirements for the competence of the interpreter performing the binding are listed. Methods for determining the correct depths during logging are described. The technique and algorithms for manual binding of well logging curves by the interpreter are described. Criteria for the correctness of the curve snapping are described.

This article was written as part of the creation of a software module for automatic snapping of curves by depth in the «Prime» system (Ufa).

Key words: geophysical well surveys, logging

Введение

Привязка кривых по глубине является частью мероприятий при ГИРС по определению глубин геологических и технических объектов скважин.

Необходимость привязки кривых интерпретатором возникает по причинам ошибок определения глубин при ГИС, а также из-за неучёта некоторых эффектов при присвоении глубин зарегистрированным при ГИС кривым. Неправильные глубины кривым могут быть присвоены как по причинам ошибок методического плана (например, неправильно введённые точки записи), так и по неучёту геолого-технических факторов (например, «плавающие» по геолого-техническим причинам эффективные точки записи некоторых методов). При интерпретации данных ГИС эти шибки и недочёты исправляются на этапе привязки кривых по глубине.

Особенно актуальна привязка при поточечной цифровой обработке кривых комплекса ГИС. При вычислении петрофизического результата интерпретации недопустимо, чтобы на одной глубине сопоставлялись данные, зарегистрированные от разных геологических объектов.

Привязкой кривых по глубинам здесь и далее будем называть процедуру по приведению в соответствие глубин аномалий измеряемой физической величины на одной или нескольких кривых, к глубинам аномалий на другой кривой ГИС. При этом принимается, что обе кривые имеют существенные симметричные аномалии от аномалиобразующего объекта в скважине. Наиболее качественно задача привязки решается при условии синфазности (конкордантности) аномалий на обеих кривых (рис. 1), что обычно обусловлено физической природой методов.

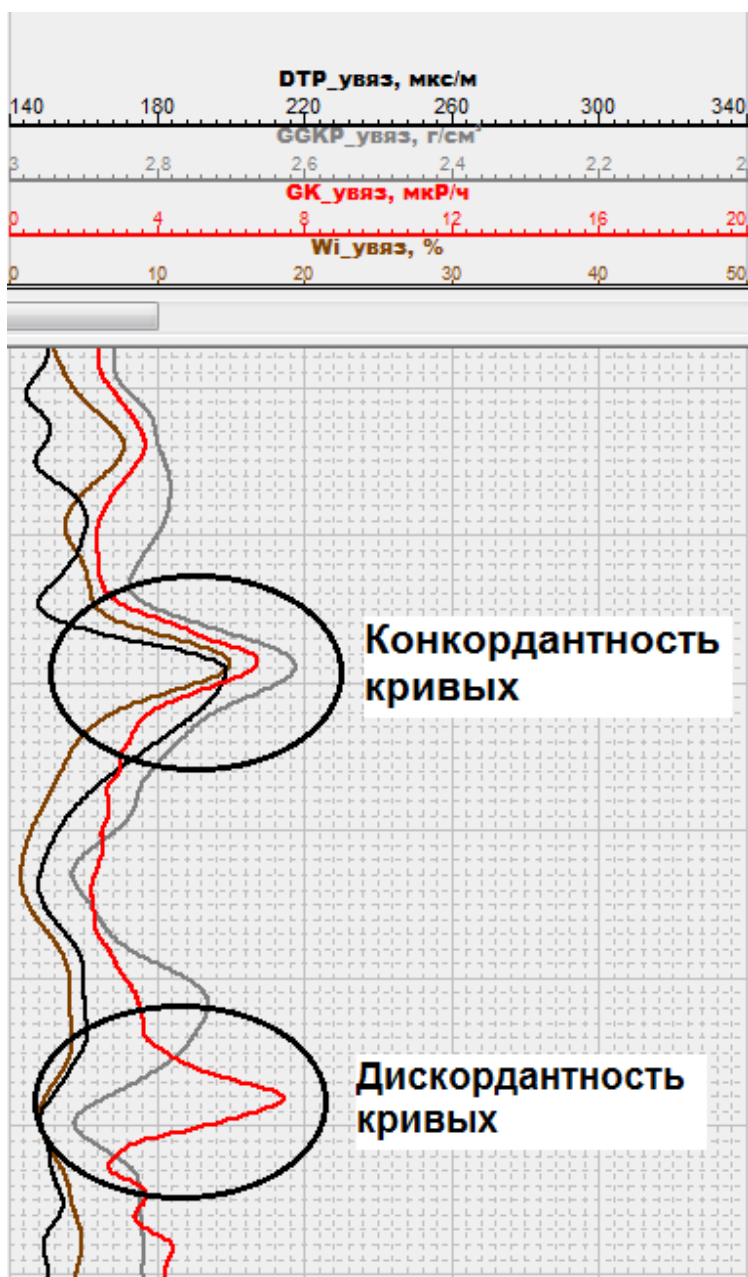


Рис. 1. Пример конкордантности и дискордантности относительных форм кривых.

Для осуществления привязки и для контроля её качества необходимо, чтобы у интерпретатора был опыт интерпретации кривых ГИС, в том числе желательно наличие опыта анализа кросс-плотов и получения объёмной минерально-флюидальной модели горных пород. Необходимо иметь представление о процессе каротажа сборками приборов с единовременно регистрируемыми кривыми от разнесённых на разные глубины датчиков (геометрия приборов и точки записи зондов). Требуется понимание интерпретатором «статистической» и «мгновенной» природы разных методов ГИС. Кроме этого интерпретатору желательно знать особенности регистрации глубин регистрирующей полевой системы (набежка на ролике, удлинение кабеля и коррекция по меткам, регистрация по времени и присвоение переменных и регулярных глубин зарегистрированным данным). Также желательно, чтобы интерпретатор понимал механику движения приборов в скважине (тяжёлые приборы спускаются на длинном растяжимом кабеле в скважины с разными углами наклона и неровностями стволов, в условиях вязких буровых растворов).

О причинах расхождения кривых по глубинам

На определяемую глубину (длину ствола скважины) по ГИС влияет ряд факторов. Часть этих факторов учитываются стандартными техническими средствами регистрации глубин при ГИС. Некоторые ещё предстоит учесть, а некоторые, возможно, не поддадутся автоматическому учёту. Наиболее существенными влияющими на измерение глубины при ГИС факторами являются: качество программной реализации системы глубинометрии регистратора, качество разметки кабеля, качество регистрации при каротаже магнитных меток глубины кабеля, корректность учёта интегрирующего окна для статистических методов, а так же корректность учёта вытяжения кабеля и учёта набежки по ролику. Влияние указанных факторов в данной работе не рассматривается, так как уже решается с разной степенью успешности программами регистрации при каротаже. Эти факторы могут быть минимизированы путём контроля качества каротажных данных принимаемых от полевых партий.

Однако кроме вышеперечисленных существуют не учитываемые стандартными средствами факторы. Одним из них является влияние на фиксируемые глубины кривых (глубины данных датчиков) неравномерного движения прибора в скважине. В настоящее время в типичных системах глубинометрии глубина измеряется на устье скважины путём совместной регистрации тактов вращения ролика глубины и учёта магнитных меток кабеля. Если бы геофизический кабель не обладал бы упругими деформациями то зарегистрированные на устье глубины строго соответствовали бы глубине прибора в скважине и стандартная система глубинометрии выдавала бы истинные глубины прибора. Так и происходит на малых глубинах, пока упругие растяжения кабеля не оказывают существенного влияния на регистрируемые на устье глубины. Однако спущенный, например, на глубины 1500-3000 м геофизический грузонесущий кабель представляет собой упругий элемент, на длину которого влияют следующие параметры: длина спущенного в скважину кабеля, вес, геометрия и прижим скважинных приборов, профиль (в основном угол) ствола скважины и свойства бу-

рового раствора (вязкость, напряжение сдвига). Большое значение при этом имеет скорость протяжки прибора. При движении на относительно большой глубине в скважине прибор или сборка приборов двигаются с замедлением и ускорением (под действием сил трения и инерции в сочетании с неровностями ствола скважины и упругими деформациями кабеля, прибор или сборка приборов начинают растягивать кабель неравномерно в каждый момент времени). При этом время на устье скважины движение ролика глубины осуществляется механизмом лебёдки с постоянной скоростью. Разноускоренное движение прибора приводит к тому, что регистрируемые в каждый момент времени на устье скважины глубины перестают соответствовать глубинам прибора в скважине. Иначе говоря, происходит рассогласование глубины регистрируемой на устье и реальной глубины прибора в скважине. При этом конструктивно зонды методов разнесены в разные места прибора или сборки приборов, и в каждый момент времени регистрируют сигналы от породы с разных глубин. Ускорения и замедления разнесённых по прибору датчиков происходят одновременно. При интерпретации ГИС значения зарегистрированных в разное время кривых приводят к одной глубине, так, как будто прибор двигался равномерно.

В практике ручной привязки кривых обычно выбирают одну из кривых комплекса (обычно кривую ГК), назначают эту кривую за «опорную» и далее последовательно привязывают кривые друг к другу по характерным аномалиям. Наибольшие ошибки при этом возникают из-за неучтённых искажений глубин самой опорной кривой. Искажения глубин при таком подходе становятся очевидными при многократных повторных записях ГК, либо на этапе привязки протяжённых интервалов керна со 100% выносом.

В работе [3] привязка кривых ГИС и данных FMI (электрический микросканер) осуществлялась к керну с учётом показаний встроенного в прибор акселерометра*. В работе отмечено, что при неучтённом разноускоренном движении приборов в каротаже нет «опорной» кривой с «истинными» глубинами, и приходится в одних интервалах принимать за опорную одну кривую и привязывать остальные к ней, а в других – другую и так далее. По данным исследования величины сдвигов глубин для данных прижимного прибора FMI при определённых условиях в среднем по скважине составляли 0.22 м и достигали значений от -0.86 до 1.9 м. Для демонстрации ошибок глубины в кривых ГИС здесь же был представлен пример увеличения (растяжения) пропластка с реальных 0.5 м до ошибочных 2 м по мощности. Решением данной проблемы в работе являлось: 1) учёт данных об ускорениях прибора по акселерометру; 2) совместная с данными керна увязка методов ГИС и методов с высоким разрешением по глубине (типа FMI). По опыту автора подобные сдвиги (чаще до ± 0.3 м) так же выявляются и при интерпретации каротажей приборными сборками в Пермском регионе (при шаге квантования кривых ГИС по глубинам 0.1 м).

**Акселерометр – это набор датчиков регистрирующих в трёх направлениях составляющие полного вектора ускорения.*

Другим известным примером несоответствия измеренных глубин реальным является интервал начала записи при отрыве прибора от забоя. За время пока происходит вытяжение кабеля, зарегистрированные глубины отличаются от ре-

альных в меньшую сторону. Такие эффекты давно известны при регистрации глубин автономной аппаратурой ГИС спускаемой на бурильных трубах. Например, в работе [2] исследователи регистрировали задержки в несколько десятков секунд от начала подъёма колонны на устье до начала движения приборов на забое.

Частным случаем разноускоренного движения является временная остановка прибора во время движения (затяжка). В таких случаях наблюдаются эффекты, подобные отрыву прибора от забоя.

Кроме перечисленных выше факторов, влияющих на корректность глубин аномалий на кривых ГИС, существует фактор смещения эффективной точки записи датчиков в случаях резких изменений физических свойств горной породы. Наиболее актуален данный эффект для методов в которых не выполняется принцип обратимости полей источника и приёмника. Это означает, что если в физически контрастных пластах поменять местами излучатель и приёмник, то будут зарегистрированы разные значения измеряемого параметра. Таким примером служит метод компенсированного нейтрон-нейтронного каротажа (пористости). Наибольшие значения сдвигов глубин аномалий на кривых таких методов следует ожидать на границах с резким изменением физических свойств породы, на тонких относительно геометрии прибора (~ 0.2 м) и контрастных по отношению к вмещающим породам пропластках, а также при наличии пересечения скважиной границ разных пород под острыми углами. По опыту автора для приборов 2ННКт наблюдаемые сдвиги от изменения эффективной точки на тонких контрастных пластах могут составлять до 0.2 м. В настоящее время автоматические решения данной проблемы автору неизвестны. Для решения проблемы изменений эффективных точек записи у приборов с обратимыми зондами (приборы АК) можно применить известный способ, описанный, например в [4]. В данном случае авторы, используя принцип обратимости зондов прибора АК, с учётом геометрии зондовой установки строили DT прямого (стандартным способом) прибора, а так же DT' обращённого псевдоприбора. Совместная обработка кривых DT и DT' позволяет автоматически исправить влияния каверн и резких границ пластов как по глубине, так и по амплитуде. Данный способ может дать хорошие результаты для учёта ложных аномалий, возникающих на кривых при пересечении скважиной границ физически контрастных пород, а также при пересечений границ пород под острыми углами. Для достижения компенсации у необратимых методов в данной работе предлагается добавить в конструкцию прибора ННКт дополнительную симметричную относительно источника пару датчиков нейтронов.

Перечислим причины расхождения кривых по глубинам:

1. Качество программной реализации системы глубинометрии регистратора;
2. Качество разметки кабеля;
3. Качество регистрации при каротаже магнитных меток глубины кабеля;

4. Полнота и качество ввода параметров в систему глубинотрипции при каротаже (корректность учёта вытяжения кабеля, корректность учёта набетки по ролику);

5. Неравномерное (разноускоренное) движение прибора в скважине;

6. Затяжки при движении прибора (остановки) как частный случай разноускоренного движения);

7. Изменение положения эффективной точки записи на резких границах, наклонном пересечении и кавернах ствола скважины;

Процедура и порядок привязки кривых могут быть изменены в зависимости от того, какая причина вызвала рассогласование глубин кривых.

Ограничения для привязки кривых друг к другу

Строго говоря, не существует однозначного теоретического обоснования корректности исправления глубин данных одной кривой (привязываемой) путём привязки к аномалиям другой кривой (опорной). Иначе говоря, невозможно утверждать, что у кривой, выбранной за опорную глубины более правильные, чем у привязываемой кривой. Это утверждение справедливо как для глубин кривых разных методов, так и для глубин одного метода (например, в перекрывающихся последовательных каротажах). Однако существует практика, когда в случае несовпадения глубин в последующем каротаже с предыдущим, кривые последующего каротажа привязывают к предыдущему. Таким образом глубины предыдущего каротажа назначают истинными. При этом глубины, определённые при первом каротаже в скважине, также назначаются истинными, независимо от возможных в них ошибок.

Возможность привязки кривых друг к другу ограничена симметрией кривых методов относительно аномалиобразующего объекта в скважине. Это означает, что кривые имеющие асимметричные формы аномалий (например кривые БКЗ) не могут быть привязаны описываемыми в настоящей работе способами.

Другим ограничением для привязки кривых является отличие либо отсутствие аномалий на кривых с разной физической природой их методов в различных по физическим свойствам горных породах. Например, кривая ГК не всегда коррелирует с кривой Кп или БК. Это можно наблюдать в интервалах разнопористых безглинистых пород, где на кривой ГК отсутствуют какие-либо аномалии. Такие интервалы называют «немными толщами» для метода ГК.

Другим примером будут породы, радиоактивность которых не связана ни с глинистостью, ни с пористостью. Например, породы с присутствием рассеянного радиоактивного урана. В таких породах аномалии на кривых ГК и Кп не связаны друг с другом по геологическим причинам (смотри пример дискордантности кривых на рис. 1).

Ограничения в привязку кривых разных методов могут вносить сложные геологические условия в разрезе, например, когда в зависимости от физических свойств пластов разреза кривые меняют в них знак относительных аномалий. Примером таких пород могут быть чередование углистых, глинистых и пористых слоёв в терригенно-глинистых продуктивных отложениях. В таких интервалах кривые могут быть по отношению друг к другу и конкордантными и дис-

кордантными (в одном пласте могут совпадать, а в соседнем – расходиться по знаку экстремумов).

Известные сложности и ограничения в привязке аномалий на кривых разных методов вызывает наклонно направленное бурение, когда пересечение скважинной границ разных пород происходит под острыми углами и в переходных зонах на кривых методов ГИС образуются трудно интерпретируемые аномалии.

Очевидно, что если имело место разноускоренное движение и/или затяжки прибора, то в случаях, подобных перечисленным выше исправить деформации в глубинах кривых при помощи привязки будет очень сложно даже опытному интерпретатору. В таких случаях очевидна необходимость учёта данных акселерометра при исправлении глубин.

Таким образом, выполняя привязку одной кривой к другой, сдвигом и/или «резинкой» следует помнить об указанных ограничениях, а так же следует выяснить причины и основания для выполнения ручной коррекции глубин кривых.

В более простых геологических условиях существует возможность исправить глубины путём ручной привязки кривых друг к другу. Однако при ручной привязке, следует помнить, что неопределённости глубин будут во многом зависеть от опытности интерпретатора.

Пути определения корректных глубин при каротаже

Корректность определения глубин в первую очередь зависит от корректности определения глубин при первом каротаже в скважине. Изменение глубин при первом каротаже зачастую может быть осложнено намагниченностью колонны. Для избежания ошибок, вызванных влиянием намагниченности бурового оборудования, операторам может быть предложена особая, учитывающая намагниченность оборудования, последовательность действий.

Наилучшим и актуальным решением для автоматического учёта неравномерного движения приборов считаем введение в практику определения глубин по ГИС обработки записей датчиков акселерометров в скважинных приборах. Это позволит так же, как показано в работе [1], компенсировать рассогласования движений устьевой и глубинной части системы прибора и кабеля и получить более уверенные глубины по ГИС (в том числе в немых толщах, в интервалах пород, радиоактивность которых не связана с глиной, а так же в слоистых породах с резко отличающимися физическими свойствами).

При таком подходе будут минимизированы «аномальные» эффекты между кривыми возникающие по техническим причинам, а интерпретатору останется объяснение геологических причин аномалий кривых. Однако в настоящее время автоматический ввод поправок в глубину кривых по датчикам акселерометров не входит в практику ГИС, исключением являются прибор ЭМС («КарСар» Саратов), а так же упомянутые в работах [1] и [2] системы каротажа автономными приборами на трубах. По этой причине большая часть рассогласований глубин кривых остаётся неисправленной и требует исправления при интерпретации.

По мнению автора, единственным подтверждением корректности определения глубин в случаях последовательно перекрывающихся интервалов каротажей будет повторяемость глубин аномалий на кривых в интервалах их перекрытия. В случае допустимых несовпадений глубин кривых следует установить причины несовпадений, и определить глубины по наиболее качественным данным ГИС. Так же полезна практика записи методов РК (обычно: ГК+2ННКт) при окончательном каротаже по всему стволу скважины с проверкой повторяемости глубин предыдущих каротажей в данной скважине.

В интервалах, где нет перекрытий кривых одинаковых методов и «опорных» кривых, интерпретатору приходится исправлять глубины кривых путём ручной привязки кривых разных методов друг к другу, опираясь при этом лишь на свой опыт и понимание разреза.

Учитывая большое количество кривых методов в современных комплексах ГИС, ручная привязка с качеством, достаточным для последующей автоматической обработки, требует высокой квалификации интерпретатора и затрат времени. Кроме этого при ручной привязке увеличивается влияние человеческого фактора. Для уменьшения трудозатрат, а так же для уменьшения влияния на результаты интерпретации человеческого фактора предпринимаются попытки автоматизировать процесс привязки кривых друг к другу.

При разработке автоматических систем привязки следует ясно понимать методические и технические особенности процедуры ручной привязки интерпретатором.

Методика ручной привязки кривых ГИС интерпретатором

Ручная привязка кривых по глубине основывается в первую очередь на понимании интерпретатором причин аномалий на кривых методов. При выполнении ручной привязки в приоритете интерпретатора оказывается его геофизическая модель разреза, в соответствии с которой исправляются глубины аномалий на кривых комплекса.

В общем случае это означает, что при каждом действии при привязке интерпретатор в режиме реального времени, осуществляет в уме интерпретацию взаимных аномалий кривых, сравнивая результат своей интерпретации с петрофизической моделью исследуемых отложений.

Если необходимо, то первоначально привязка осуществляется путём сдвига по глубине всей кривой (например, из за неправильно введённых при регистрации или неправильно учтённых при обработке точек записи прибора или сборки). После этого анализируют формы кривых, и в случае выявления неправильных (необъяснимых, с точки зрения петрофизической модели отложений) взаимных аномалий кривые комплекса последовательно привязывают друг к другу до тех пор, пока среди кривых не останется необъяснимых взаимных аномалий. При этом интерпретатор учитывает геолого-технические ограничения для привязки.

Для привязки кривых с относительно высокой разрешающей способностью по глубине их копии можно сгладить и привязывать к опорной кривой совместно с исходной несглаженной кривой.

В случае простого строения разреза (формы кривых конкордантные) интерпретатор анализирует произвольный участок разреза на предмет одинакового количества аномалий на кривых разных методов и интерпретирует отличия аномалий на кривых с учётом их физической природы. После этого интерпретатор, используя программу обработки, вручную совмещает по глубине экстремумы и/или перегибы кривых. Решение о совмещении глубин кривых по экстремумам или по перегибам принимается на основании разрешающей способности методов и требуемой по глубине детальности интерпретации. Совмещение глубин аномалий по одиночным экстремумам осуществляют в тех случаях, когда объект в скважине отображается на форме кривой в виде одиночного экстремума. Совмещение глубин аномалий по перегибам осуществляют в тех случаях, когда объект в скважине отображается на форме кривой в виде множества малоамплитудных экстремумов. Примером таких объектов может служить выдержанный по минеральному составу и ФЭС мощный относительно разрешающей способности методов пористый пласт глин во вмещающих плотных породах (рис. 2). В случае таких многоэкстремальных пластов на первый план при привязке выходит привязка по перегибам или привязка кривых по границам пластов.

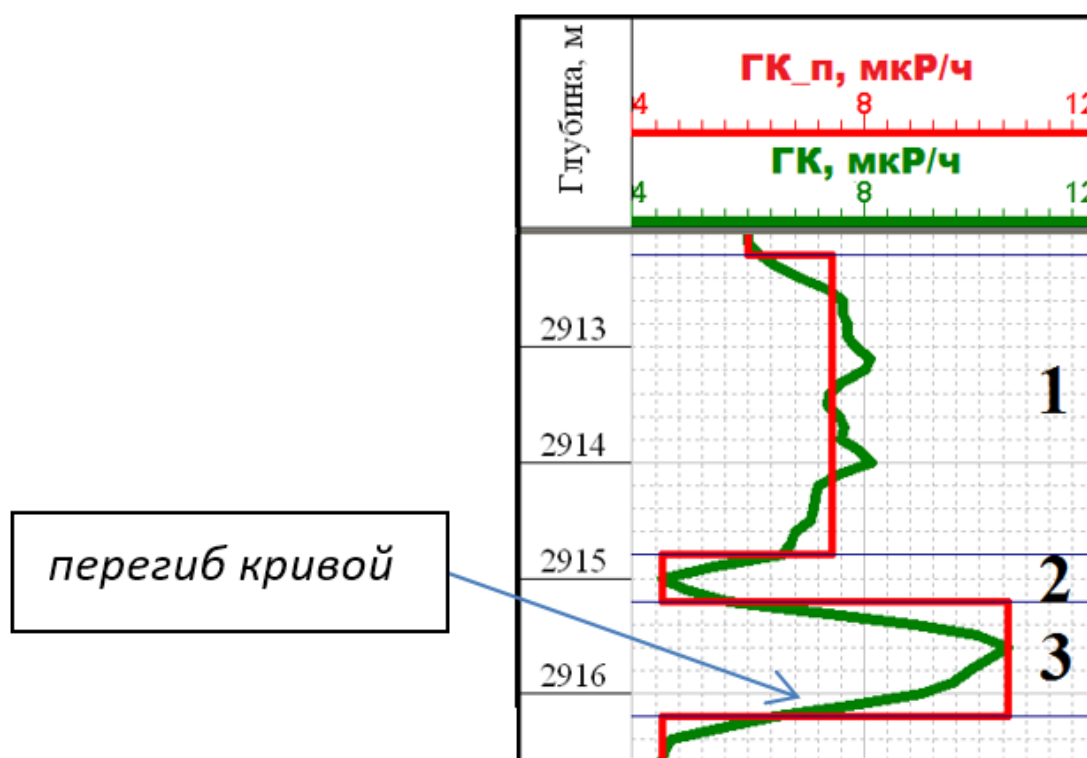


Рис. 2. Фрагмент планшета с поточечной «ГК» и попластовой «ГК_п» диаграммами: 1 – в мощном пласте, 2 и 3 – в тонких пластах

О необходимости повышения детализации регистрации ГИС

В настоящее время в практике регистрации ГИС распространены квантования кривых с шагом 0.1-0.2 м. При этом требования заказчика на минимальную мощность коллектора в настоящее время составляет 0.4-0.3 м. При привязке кривых большинство программных систем обработки данных ГИС перемещают

кривые строго по регулярным шагам глубины. В относительно тонкослоистом разрезе невозможно корректно привязать экстремумы кривых, зарегистрированных с шагом по глубине 0.1 м. При попытке привязки близко расположенных (относительно шага кривых) экстремумов неизбежно возникают искажения форм аномалий (искажаются и глубины элементов кривой, и значений на кривых). Таким образом, без того сложная и неопределённая процедура ручной привязки кривых может существенно исказить зарегистрированную в виде кривых информацию. Назрела регистрация и обработка кривых ГИС с шагом более детальным, чем 0.1 м. Например, шагом, на который способны современные приборы и системы регистрации.

Современные цифровые регистраторы кривых ГИС могут, как правило, обеспечивать частоту опроса и регистрации, достаточные для экспорта данных из полевых источников с детальностью по глубине порядка 1 см (по времени порядка 1 секунды).

Следует отметить, что при регистрации с шагом 0.01 м гораздо более информативными для интерпретации становятся стандартные высокоразрешающие методы ГИС, такие как: БМК, МГЗ, МПЗ, и ГГК-П. Кроме этого при более детальной регистрации более информативными становятся и менее разрешающие по глубине методы, например, такие как ГК и 2ННКт. Их информативность повышается за счёт большего числа опросов в интервалах затяжек и превышений скорости протяжек при разноускоренном движении прибора. А так же при вычислении отношения показаний зондов.

Некоторой временной альтернативой более детальному шагу регистрации могла бы быть возможность привязки кривых не с постоянным, а с переменным шагом по глубине, с последующим преобразованием результатов в любой необходимый шаг. Однако такие системы обработки авторам не известны.

Для избежания искажений при привязке с регулярным шагом кривых, зарегистрированных с относительно крупным шагом квантования по глубине можно при обработке искусственно повысить детальность привязываемых кривых, например путём линейной или нелинейной интерполяции с шага 0.1 м, до шага 0.01 м, и привязывать кривые с более детальным шагом. При таком подходе при привязке удаётся точно сопоставить экстремумы и другие элементы форм кривых без потери и искажения информации.

Алгоритмы ручной привязки кривых ГИС интерпретатором

Рассмотрим пример из практики привязки по глубине кривых расширенного комплекса методов ГИС по технологии Т-ЛПСТ (в основе технологии – лежит методика ЛПСТ, ПАО «Пермнефтегеофизика»). Актуальный для интерпретации по Т-ЛПСТ комплекс методов ГИС в условиях карбонатно-терригенных пород Пермского Прикамья состоит из следующих кривых:

1. GK - естественная радиоактивность горных пород;
2. Wi - водный эквивалент по осн. градуировочной зависимости для известняков;
3. DTP - интервальное время пробега продольных акустических волн;
4. DTS - интервальное время пробега поперечных акустических волн;

5. GGKP - плотность по данным плотностного каротажа;
6. PE - сечение фотоэффекта по данным литологического каротажа;
7. BK - УЭС по боковому каротажу;
8. BMK - УЭС по микро-боковому каротажу;
9. MGZ - УЭС по микро-градиент зонду;
10. MPZ - УЭС по микро-потенциал зонду;
11. DS_mek - профиль ствола скважины по микрокоркомеру микро-электро каротажа;
12. DS - диаметр ствола скважины;
13. PR1 - профиль ствола скважины по радиусомеру;
14. PR2 - профиль ствола скважины отличный от PR1_ds на $90^\circ > 0^\circ$;

При этом по одним и тем же реперам совместно увязываются относящиеся к одному прибору и к одной точке записи следующие группы кривых: DTP+DTS; GGKP+PE; BMK+MGZ+MPZ+DS_mek; DS+PR1+PR2.

Перед привязкой в системе Прайм в Т-ЛПСТ у данных кривых предусмотрено повышение детальности шага до 0.01 м линейной интерполяцией значений.

Привязка осуществляется с шагом 0.01 м на специальном планшете (рис. 3). Вычислительная обработка и представление результатов интерпретации осуществляются на других специальных планшетах. Кривые в системе Прайм синхронизированы и при их изменении на одном планшете, эти кривые изменяются на всех остальных планшетах

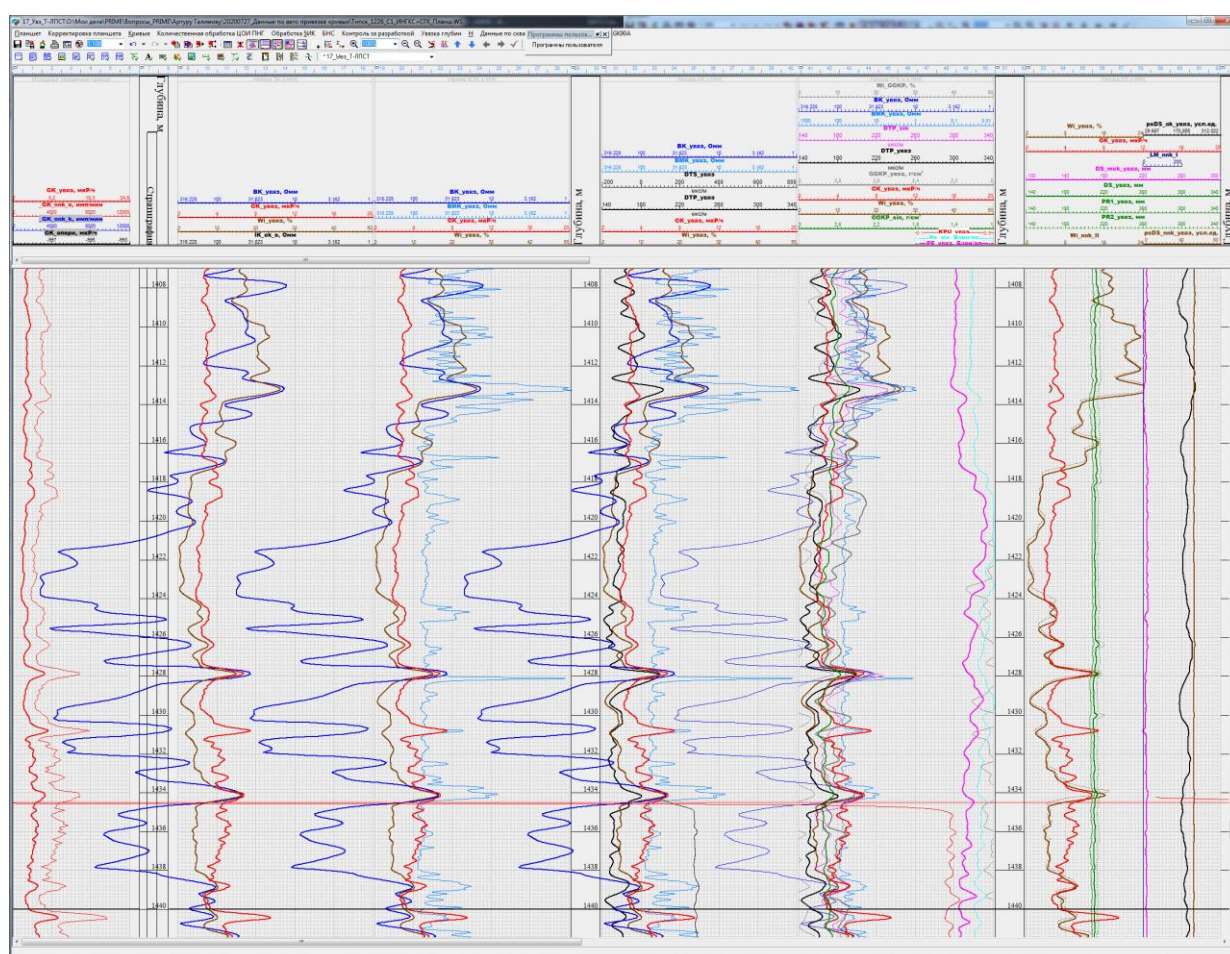


Рис. 3. Планшет привязки по технологии интерпретации Т-ЛПСТ.

Для удобства сопоставления кривых при привязке отображение кривых настроено на планшете таким образом, чтобы кривые максимально соответствовали кривой Wi (пористости).

В технологии Т-ЛПСТ разработан особый порядок последовательности привязки кривых друг к другу. Очередность привязки каждой кривой определена с учётом её роли и важности в интерпретации, и особенностей её регистрации.

При привязке используется принцип создания и дополнения массива опорных кривых. Для этого при привязке последующая кривая размещается на одной сетке с уже увязанными кривыми. В результате упрощается процедура привязки наиболее сложных в этом отношении кривых, например, таких как DS, GGKP и PE. Когда подходит их очередь, интерпретатор уже имеет понимание причин большинства аномалий в разрезе, кроме этого на сетке с этими кривыми уже располагаются увязанные ранее более простые для привязки кривые.

В технологии Т-ЛПСТ кривые привязываются друг к другу в следующем порядке:

1. GK к GK_опорн;
2. Wi+psDS_nnk_увяз к GK;
3. BK к GK+Wi (основная опорная кривая GK);
4. BMK+DS_mek к BK+GK+Wi (основная опорная кривая GK);
5. DTP+DTS+psDS_ak_увяз к BMK+BK+GK+Wi (основная опорная кривая GK);
6. GGKP+PE к DTP+DTS+BMK+BK+GK+Wi (основная опорная кривая GK);
7. PE к GGKP+ DTP+DTS+BMK+BK+GK+Wi (основная опорная кривая GK);
8. DS к psDS_nnk_увяз+psDS_ak_увяз+PE+GGKP+DTP+DTS+BMK+BK+GK+Wi, (основная опорная кривая psDS_nnk_увяз) где: «psDS_nnk_увяз» и psDS_ak_увяз – кривые псевдокаверномеров, вычисленные по данным 2ННКт и 2АК соответственно.

Кривая PE в представленном выше порядке чаще всего привязывается совместно с кривой GGKP. Отдельная привязка в большинстве случаев не превышает 0.1 м и объясняется эффектами смещения эффективных точек записи у двухзондового метода GGKP и однозондового метода PE.

В сложных случаях основная опорная кривая может меняться. Например, в немых по GK толщах основной кривой для дальнейшей привязки становится кривая Wi. Так же и привязку кривых приборов прижимного типа в интервалах разрушений стенок скважины (прибор микро-электрокаротажа: BMK, MGZ и MPZ) имеет смысл выполнять, предварительно выполнив привязку кривых диаметра ствола скважины по каверномеру и по псевдокаверномеру.

В процессе привязки интерпретатором в системе Прайм сохраняются реперы привязки соответствующих основных пар кривых: опорной и привязываемой.

Сохранение реперов привязки выполняет две задачи:

- 1) Документирование вмешательства человека в зарегистрированные данные;
- 2) В случае непредвиденных ситуаций позволяет быстро повторить эту наиболее рутинную и трудозатратную в интерпретации операцию.

Кроме этого по сохранённым реперам привязки привязывают исходные кривые каротажа, которые были записаны одним с привязанной кривой прибором. Например, по реперам ВМК привязываются кривые MGZ и MPZ.

Описанная технология привязки по Т-ЛПСТ в системе Прайм позволяет выполнять уточнение привязки итеративно между циклами вычислений по программе петрофизической интерпретации. Если при автоматической петрофизической интерпретации будут выявлены аномальные, не удовлетворяющие петрофизической модели интервалы, интерпретатор возвращается на планшет привязки, доувязывает по описанной выше схеме кривые, и повторяет вычисления.

О критериях корректности привязки кривых

При оценке подлежащих привязке и привязанных кривых интерпретатором учитываются следующие критерии:

1. Удовлетворение наблюдаемых относительных аномалий на кривых геолого-геофизическим представлениям об элементах разреза скважин.
2. Конкордантность однотипных по физическому методу кривых;
3. Одинаковое количество экстремумов на кривых, приведённых к единой разрешающей по глубине способности (при этом обычно рассматриваются отдельные участки/интервалы кривых);
4. Совпадение глубин экстремумов одноэкстремальных аномалий или совпадение глубин максимальных градиентов;
5. Величина сдвига кривой целиком;
6. Величины сдвигов участков кривых резинкой;
7. Объяснимость причин для изменений глубин вносимых при привязке.

В качестве заключения

Процедура привязки кривых при кажущейся простоте является наиболее трудозатратной и требующей высокой квалификации процедурой. В то же время в ряде случаев (длинные интервалы ГИС, подобные по физической природе методы, изученные в соседних скважинах интервалы) данная процедура становится ещё и наиболее рутинной для специалиста.

Учитывая всё вышесказанное и не смотря на сложность задачи автоматизации, авторы надеются на положительный исход разработок автоматизации процедуры привязки в современных системах обработки кривых ГИС.

Библиографический список

1. *Власов А.А., Тейтельбаум Д.В.* Опыт применения методики компенсации рассогласования движения верха и низа буровой колонны по данным высокочастотного продольного акселерометра скважинного комплекса СКЛ-А // Каротажник. - 2017. - № 9 (279). - С. 21-28.
2. *Денисов Ю. А., Буяльский М. Г., Наваркина М. М., Яковлев А. П.* Программно измерительный комплекс "Глубиномер". История разработки и опыт использования // НТВ "Каротажник". Тверь: Изд. АИС. 2013. Вып. 3 (225). С. 84-98.
3. *Исламов А.Ф., Тухтаев Р.И., Шаяхметов Т.Р.* Методические подходы к подготовке скважинных данных для комплексного анализа имиджей и керна на примере разреза тюменской свиты Средне-Назымского месторождения (западная Сибирь) // НТВ "Каротажник". Тверь: Изд. АИС. 2020. Вып. 4 (304). С. 19-35.
4. *Князев А.Р., Малиновский А.К., Некрасов А.Н.* Повышение информативности при интерпретации двухзондовых приборов каротажа // НТВ «Каротажник». Тверь: Изд. АИС. 2019. Вып. 5(299). С. 129-141.

В.Н. Катаев, И.Г. Ермолович
ПГНИУ, kataev@psu.ru; ermol@psu.ru

ТРЕЩИНЫ БОРТОВОГО ОТПОРА И ЗАКАРСТОВАННОСТЬ В ПРЕДЕЛАХ КАМСКО-ЧУСОВСКОГО МЕЖДУРЕЧЬЯ

В работе представлены сведения о геологическом строении и особенностях развития форм карста в пределах Камско-Чусовского междуречья. Рассмотрена последовательность тектонического развития территории, выделены карстологические этапы. Определено влияние трещин бортового отпора на локализацию подземных карстовых форм.

Ключевые слова: карстовые формы, побережье водохранилища, трещины бортового отпора

V.N. Kataev, I.G. Ermolovich
Perm State University, kataev@psu.ru; ermol@psu.ru

CRACKS IN THE SIDE REBOUND AND KARST FORMATION WITHIN THE KAMSKO-CHUSOVSKY INTERFLUVE

The paper presents information about the geological structure and features of the development of karst forms within the Kama-Chusovsky interfluve. The sequence of tectonic development of the territory is considered, the karstological stages are identified. The influence of the side rebound cracks on the localization of underground karst forms is determined.

Keywords: karst forms, reservoir coast, side rebound cracks

Введение

Рассматриваемая часть Чусовского мыса, примыкающая к р.Каме, находится в пределах западной части Полазненского (Полазненско-Шалашинского) карстового района, характеризующегося карбонатно-сульфатным и сульфатным литологическими типами карста в гипсах и перекрывающих их плитчатых трещиноватых известняках и доломитах кунгурского яруса. Здесь выделено 20 карстовых полей (рис. 1).

Морфология и плотность поверхностных карстовых форм определяются степенью трещиноватости пород, составом и мощностью покровных образований, рельефом. Наибольшая плотность карстовых форм отмечается на склонах долин Чусовой и Камы, на присклоновых участках водоразделов, в логах, где уменьшается мощность покровных отложений. Большая часть поверхностных карстопроявлений является древними, их диаметры изменяются от 9 до 20 м при глубине до 6 м. При слиянии нескольких воронок образуются котловины диаметром 100 м и более, вытянутые параллельно логам [3,5].

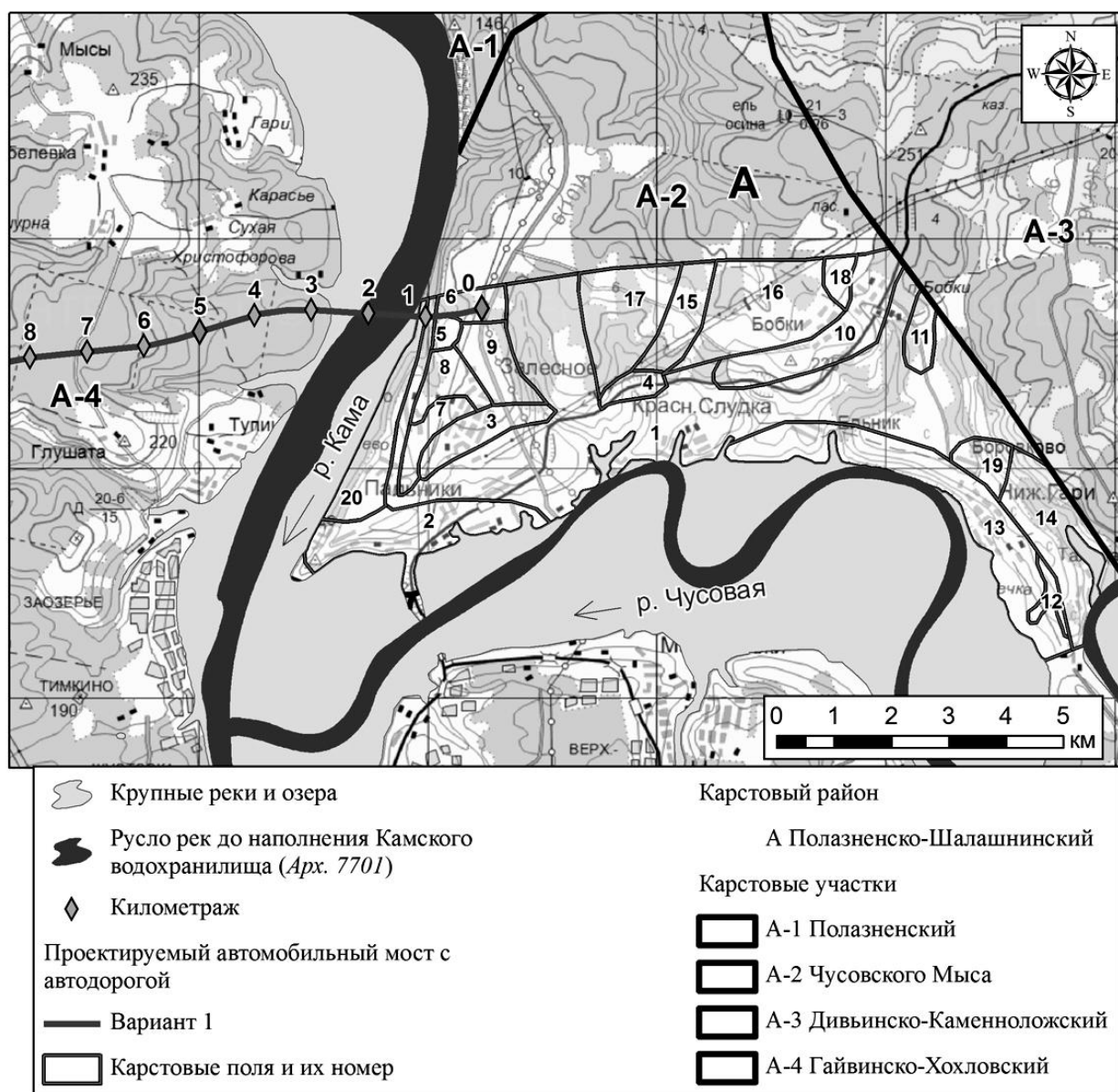


Рис. 1. Карстологическое районирование Камско-Чусовского междуречья (по К.Г. Бутыриной, 1968; Н.Н. Назарову, 1996)

Приповерхностная часть слоистой сульфатно-карбонатная толщи, слагающей мыс и вскрытая бурением до уреза Камского водохранилища, находится в гидродинамической зоне вертикальной нисходящей циркуляции подземных вод. До отметки уреза Камского водохранилища подземные воды при бурении не встречены. Ниже уреза выделяется гидродинамическая зона поддолинной (подрусловой) циркуляции.

Интервал колебания уровня р.Камы до создания водохранилища в абсолютных отметках составляет 105,0-106,3 м. Интервал колебания уровня водохранилища 106,3-108,0 м.

По материалам буровых работ, выполненных на территории п. Полазна (в 10 км к северу от рассматриваемого участка) в период с 1961 по 1966гг. подземные карстовые полости, не заполненные и заполненные, с вертикальными размерами от 1,0 до 6,0м, сформировавшиеся в гипс-ангидритовой толще (P_{1kg}), были вскрыты на различных глубинах от 39 до 77,5 м от поверхности земли.

Глубинный интервал, где были встречены полости ограничен абсолютными отметками 77,46-127,58 м (Печеркин, 1969).

По глубине залегания большинства встреченных полостей можно выделить 4 условных интервала подземной закарстованности:

1. Абс. отм. 77,46-96,59 м. Две полости на интервале более 19 м встречены на глубинах 39,0 и 77,5 м с вертикальными размерами соответственно 1,0 м с заполнителем и 2,0 м без заполнителя.

2. Абс. отм. 107,56-112,00 м. 6 полостей на глубинах от 57,0 до 66,1 (Ср. 62,9 м) с вертикальными размерами от 1,0 до 4,5 м (ср. 2,48 м). 50% с заполнителем, 50% без заполнителя.

3. Абс. отм. 114,00-117,70 м. 9 полостей на глубинах от 46,00 до 60,00 м (ср. 55,70 м) с вертикальными размерами от 1,5 до 7,3 м (ср. 3,62 м). 22% с заполнителем, 78% без заполнителя.

4. Абс. отм. 119,79-125,31 м. 4 полости на глубинах от 48,00 до 54,00 м (ср. 51,90 м) с вертикальными размерами от 1,8 до 4,0 м (ср. 2,45 м). 50% с заполнителем, 50% без заполнителя.

При бурении были вскрыты полости и в обвальном-карстовых отложениях (N_2-Q), перекрывающих гипсо-ангидритовую толщу. Это полости в диапазоне абс. отм. от 96,46 до 156,37 м. Глубины залегания полостей от поверхности земли варьируют от 3,6 до 57,0 м. Вертикальные размеры полостей изменяются от 1,0 до 14,5 м.

Геологическое строение участка

На участке отметки поверхности от приводораздельной части до бровки склона изменяются в интервале абсолютных высот 205-185 м. Мощность современной зоны вертикальной нисходящей циркуляции в приводораздельной части составляет 97 м и 77 м в бровке склона.

В прибровочной зоне **нижняя** часть геологического разреза исследуемого массива представлена трещиноватыми известняками и доломитами (вскрытая мощность 5 м), перекрытых толщей трещиноватых ангидритов с включениями гипса мощностью до 21 м, в кровле которых залегают сильнотрещиноватые, малопрочные гипсы мощностью от до 5,0 м. В данной толще и в прикровельной части подстилающей толщи ангидритов в интервале 50,0-64,0 м (абс. отм. 139,50-125,50 м) при бурении зафиксированы 6 провалов бурового инструмента от 1 до 4 м.

Над сульфатными отложениями залегает толща известняков с прослоями доломита и линзами сильнотрещиноватого кавернозного гипса мощностью 10-18 м. В кровле толщи в интервале 40,29-41,02 м (абс. отм. 148,48-149,21 м) вскрыта полость, зафиксированная видеокаротажом. Вертикальные размеры полости 0,73 м. В интервале 44,48-45,00 м (абс. отм. 144,50-145,02 м) выявлена зона дробления и полость в зоне дробления. Борта трещин и дно полости выполнено автохтонными отложениями – глыбами и щебнем пород толщи. Глыбы и щебень покрыты натечными образованиями.

В *средней* части разреза толщу известняков перекрывают суглинки с включениями щебня песчаника и карбонатных пород мощностью 6,8-10,6 м. В приподошвенной части толщи в интервале глубин 32,5-33,3 м (абс.отм 157-156,2 м) при бурении зафиксирована полость (вывал грунта), подтвержденная видеокаротажем. Вертикальные размеры полости 1,0 м. Стенки полости и дно сложены глыбово-щебенистым материалом.

Суглинки перекрыты толщей известняков с прослоями доломита и гипса мощностью 11,2 м. Толща выклинивается к склону долины р.Камы.

Верхняя часть разреза представлена толщей «глинистых карбонатов» и покровными суглинками. Известняки в кровле средней части разреза перекрываются толщей «глинистых карбонатов» сильно трещиноватых, разрушенных до состояния щебня мощностью 6,9-9,4 м. В толще «глинистых карбонатов», практически на всю мощность толщи в интервале от 19,32 до 28,17 м (абс. отм. 170,18-161,27 м) зафиксированы субвертикальные трещины, фрагментарно расширенные до 0,2 м, устья которых в местах расширения расклинены остроугольными обломками глыб и щебнем. Борта трещин без видимой коррозионной проработки.

Покровные отложения представлены суглинками с включениями щебня песчаника и карбонатных пород. Мощность суглинков изменяется от 11 до 23 м.

Толща в береговом обрыве обнажена. Видимая мощность отложений составляет 10-11 м. Отложения в абразионном уступе (клифе) представлены переслаиванием пластов трещиноватого гипса различной степени выветрелости и относительно тонких прослоев и (или) линз глинистого состава (алевролитов). Пласты гипса и алевролита разбиты трещинами нескольких генетических типов:

- литогенетические трещины представлены субгоризонтальными межпластовыми трещинами (трещинами напластования), разделяющими пласты на визуально отдельные слои мощностью 0,5-0,7 м;

- трещины экзогенные в основном связанные с процессами выветривания и гравитационного перемещением горных пород в результате абразионной подрезки склона и потерей его устойчивости. Трещины физического выветривания представлены мелкими трещинами, формирующими на поверхности гипсов чешуи и трещины химического выветривания, расширяющие микротрещины и формирующие микрокарры на поверхности пластов и комковатую структуру пластов гипса. Субвертикальные трещины, связанные с гравитационным перемещением горных пород склона, могут развиваться как внутри слоев, разбивая их на блоки, так и пересекая слои от поверхности обнажения до его средней части или подошвы и формируя блоки отседания (фото 1).

Первичное горизонтальное залегание пластов и прослоев нарушено в результате комплексного воздействия процессов выветривания (физического и химического), абразии, разгрузки внутренних напряжений в массиве горных пород и гравитационного перемещения сформировавшихся блоков горных пород.

Обнаженная слоистая толща гипсов фиксируется в интервале абсолютных высотных отметок от 108,0 до 119,0 м. Наиболее вероятно, что эта толща соответствует пласту трещиноватых ангидритов с включениями гипса, вскрытому в интервале 114,5-135,5 м (ИГЭ 19, табл. 4.2.3. Нормативные и расчетные показатели физико-механических свойств скальных грунтов ИГЭ). В присклоновой зоне толща подверглась гидратированию, а с обнаженной поверхности активному воздействию процессов выветривания и гравитационного перемещения отдельных блоков горных пород.

Более точную корреляцию обнажающейся толщи гипсов и пластов, вскрытых при бурении, выполнить практически невозможно без дополнительных исследований, поскольку помимо гипергенных изменений в присклоновой зоне произошло субвертикальное перемещение блоков пород, отчлененных трещинами бортового отпора, от их первоначального высотного положения.



Фото 1. Профильный вид обнажения. Стрелками указаны трещины отседания

Краткая история тектонического развития территории

Основной особенностью исследуемого участка является наличие эшелонированных трещин бортового отпора, развитых на склоне долины р.Камы от его прибровочной части.

Возникновение и развитие трещин бортового отпора связано с формированием (углублением) долины р.Камы и формированием эрозионных и эрозионно-карстовых логов в присклоновой части долины и на ее склонах.

По времени этап формирования долины р.Камы соответствует олигоцен (поздний палеоген)-плиоценовым (поздний неоген) эпейрогеническим поднятиям большой амплитуды. Кульминационная фаза поднятий зафиксирована на

рубеже миоцена ((N_1)) и плиоцена ((N_2)) (альпийский цикл тектогенеза). Именно этот подъем территории активизировал эрозионные процессы по всему Предуралью, в том числе и на Средней Каме и, в частности в Полазненско-Шалашнинском карстовом районе. Смещение вниз по разрезу базисов эрозии способствовало смещению карстоформирующей эпифреатической зоны (зоны колебания уровня подземных вод), а раскрытие межпластовых и тектонических субвертикальных трещин обусловило локализацию подземного стока. Положение подземных полостей в геологическом разрезе плиоценовых террас и особенности их заполнения обломочным материалом дало основание В.С. Лукину [8] предположить интенсивное развитие на этом этапе полостей зоны горизонтальной циркуляции на контакте пород иренского и филипповского горизонтов.

С этапами воздымания территории в начале четвертичного периода, в плейстоцене (Q_{PL}) связывают и этапность карстового цикла. Ссылаясь на исследования М.С. Кавеева и Б.В. Васильева, И.А. Печеркин [10] отмечает три фазы карстового цикла – в миндельское (ранний плейстоцен около 0,5–0,4 млн. лет назад), рисское (средний плейстоцен (эоплейстоцен) около 110–230 тыс. лет назад), вюрмское (верхний плейстоце-голоцен около 20-70 тыс. лет назад) времени.

Большинство карстовых провалов, происходивших в современный период, подготавливались за счет развития полостного пространства еще в рисс-вюрмское время.

Современный период провалообразования на исследуемом участке связан и с техногенным фактором, а именно с созданием Камского водохранилища. Активная фаза провалообразования в прибрежной зоне началось с 1954 г., с года первоочередного наполнения водохранилища и продолжалась до 1960 г. Наиболее активно провалы формировались на низких и средних террасах, менее активно на высоких с абсолютными отметками 170-220м. Полости, ранее сформировавшиеся в гипсах, были заполнены песчано-глинистым материалом. В зоне влияния сливной призмы и, особенно в период зимней сработки уровня, усиливаются процессы выноса заполнителя полостей. Наиболее провалоопасными, по мнению И.А. Печеркина [10], основанному на анализе буровых работ и возникновению провалов на территории п. Полазна, являются участки склонов р.Камы, где глубина до зоны горизонтальной циркуляции подземных вод в массиве составляет не более 25-30м.

Трещины бортового отпора и закарстованность

Практически все поверхностные формы карста на исследуемом участке пространственно связаны с трещинами бортового отпора, в частности с их устьями. Происхождение этих трещин связывают с неравномерной разгрузкой напряжений в породах, слагающих борта долин рек в результате эрозии и способности пород в итоге занимать равновесное положение на определенных этапах развития склона. Наличие таких трещин – не уникальное явление. Сочетание трещин бортового отпора и карстовых форм характерно для многих карстовых районов. Их описание можно встретить в работах Д.Н. Сабурова [11] и О.В. Бузунова [1],

посвященных Пинего-Северодвинской карстовой области, В.С. Лукина [8] и К.А. Горбуновой [4] по карстовым районам Предуралья, в обзорных работах А.В. Ступишина [13] и Д.С. Соколова [12].

В склонах речных долин трещины бортового отпора формируют параллельные зоны эшелонированных разрывов, имеющие в ориентировке двойное подчинение: расположению бортов долины эрозионного вреза и ориентировке элементов дизъюнктивной структуры, которая в региональном плане определенным образом частично контролирует и ориентировку вреза. Как правило, трещины бортового отпора в верхней части субвертикальны, а с глубиной приобретают наклон в сторону реки под углом $30-50^{\circ}$. Раскрытость устьев трещин может достигать 5-7м, при их протяженности до 60-70м вдоль бровки склона. Устья представляют собой узкие рвы, заполненные глыбовым материалом, глубиной 2 – 4м. Стенки рвов частично обрушены за счет эрозионно-карстового воздействия. Не исключено, что на склоне могут находиться и устья визуально не фиксируемые как рвы, в результате их полного перекрытия обломочным материалом.

Практика исследований свидетельствует о том, что в устьевой части трещин бортового отпора могут формироваться малые пещеры горизонтального, наклонного и вертикального типов [6]. Пещеры наклонного и вертикального типов формируются в гидродинамической зоне вертикальной нисходящей циркуляции, а пещеры горизонтального типа в гидродинамической зоне горизонтальной циркуляции подземных вод. Все эти пещеры за исключением пещер горизонтального типа, развивающихся не только по трещине бортового отпора, но и по трещинам напластования в подножии склонов эрозионных врезом характеризуются слабой коррозионно-эрозионной проработкой. В нижней части вертикального хода могут формироваться щелеобразные горизонтальные ответвления небольшой (не более 10м) протяженности. Горизонтальные ответвления закладываются или по трещинам бортового отпора или по тектоническим трещинам. Как правило, вертикальные размеры пещер достигают 1,5-2,0 м, а объем до 60 м^3 .

На исследуемом участке подобная полость была вскрыта траншеей, пройденной в устье трещины бортового отпора (фото 2). Вход в полость расположен в восточной стенке траншеи, на глубине 1,3 м от поверхности земли. Вход в вскрытую полость неправильной формы имеет поперечные размеры 0,20-0,35 м, достигая в глубину ширины до 1,5 м и видимой длиной 2,4 м.



Фото 2. Вход в вертикальную полость вертикального типа в устье трещины бортового отпора, вскрытой траншеей

В образовании карстовых рвов, в том числе и по устьям трещин бортового отпора выделяется стадийность. К.А. Горбунова [4], ссылаясь на исследования К.Г. Бутыриной [2] и В.С. Лукина [7], выделяет три стадии в развитии карстовых рвов.

1. **Первая стадия.** Развитие цепи воронок над устьем трещины бортового отпора или над участками интенсивного подземного стока. На этой стадии группы слившихся воронок разделены перемычками.

2. **Вторая стадия.** Увеличение в размерах рва за счет полного слияния и углубления впадин, образованных слившимися воронками. Карстовые полости под дном рва и трещины заполняются глинисто-обломочным материалом, в результате чего прибортовой поток смещается в сторону склона, где может формироваться новая цепочка провалов.

3. **Третья стадия.** Дно рва покрывается тонкодисперсным материалом, происходит заболачивание дна и могут формироваться карстовые озера. Выровненное дно способствует поверхностному стоку к одному из концов рва или к его пониженным участкам.

Все эти стадии были выявлены в пределах территории п. Полазна.

На исследуемом участке карстовые рвы находятся на первой стадии своего развития.

Вертикальные размеры вскрытых полостей варьируют от 0,4 до 1,5 м. Исключение составляют полости с вертикальными размерами до 4 м, зафиксированные по провалам бурового инструмента.

Таблица. Положение выявленных при бурении полостей и видеокаротажу

Абс. отм., м	Глубинные интервалы, м	Вертикальные размеры, м	Литология
Открытые полости (без заполнителя)			
164,3-165,8	3,0-4,5	1,5	подошва известняков (ИГЭ 3.10) – кровля суглинков (ИГЭ 3.2а)
157-156,2 м	32,5-33,3	1,0	подошва суглинков (ИГЭ 3.1а) – кровля известняков (ИГЭ 16)
154,7-155,0	43,1-43,4	0,3	суглинки (ИГЭ 3.1а)
154,2-154,6	43,5-43,9	0,4	суглинки (ИГЭ 3.1а)
148,48-149,21	40,29-41,02	0,73	кровля известняков (ИГЭ 16)
144,8-145,3	30,1-30,6	0,5	в подошве известняков (ИГЭ 3.10) – кровле гипсов (ИГЭ 18)
143,8-144,4	24,4-25,0	0,6	кровля известняков (ИГЭ 3.10)
143,6-144,1	46,5-47,0	0,5	подошва известняков (ИГЭ 3.10) – кровля гипсов (ИГЭ 18)
141,6-142,1	48,5-49,0	0,5	кровля гипсов (ИГЭ 18)
139,5-125,5	50,0-64,0	1,0-4,0	подошва гипсов (ИГЭ 18) – кровля ангидритов (ИГЭ 19)
110,2-110,8	24,4-25,0	0,6	суглинки (ИГЭ 3.1.а)
83,2-83,8	51,4-52	0,6	ангидриты (ИГЭ 19)
Предполагаемые полости, заполненные суглинком			
179,0-180,0	25,0-26,0	1,0	кровля известняков (ИГЭ 3.10)
165,0-166,6	38,4-40,0	1,6	подошва линзы известняков с прослоями доломита и гипса (ИГЭ 16)
96,2-97,9	7,3-9,0	1,7	прикровельная часть гипсов (ИГЭ 18)
91,3-92,7	12,5-13,9	1,4	средняя часть толщи гипсов (ИГЭ 18)
86,8-89,7	15,5-18,4	2,9	подошва толщи гипсов (ИГЭ 18) – кровля толщи ангидритов (ИГЭ 19)

В морфологическом отношении вскрытые карстовые полости идентичны. Полости сформированы в раздробленных зонах, часто на пересечениях субвертикальных и субгоризонтальных трещин отрыва с раздробленными бортами. Стенки полостей и дно сложены автохтонным глыбово-щебенистым материалом. Как правило, полости заложены по литологическим границам, в подошве покровных суглинков, кровле или подошве толщи карбонатных или сульфатных толщ.

Имеющиеся данные позволяют высказать предположение, что вскрытые полости сформированы в результате процессов экзогенной тектоники – процессов развития трещин бортового отпора и трещин разуплотнения пластов, как результат разгрузки внутренних напряжений в массиве в процессе формирования эрозионных врезов (долины р.Камы, присклоновых карстово-эрозионных логов). Данные о местоположении зафиксированных при бурении полостей представлены в таблице.

Библиографический список

1. Бузунов О.В. Кулогорская пещера // Пещеры Пинего-Северодвинской карстовой области. Л., 1974. С.163 – 168.
2. Бутырина К.Г. Карстовые явления окрестностей поселка Полазны Добрянского района Пермской области. – Учен. зап. / Пермский ун-т, 1962, т. XXI, вып.3.
3. Бутырина К.Г. Гипсовый карст центральной части Пермской области. Канд. дисс. канд. географ, наук / Перм. ун-т. Пермь, 1968. 380 с.
4. Горбунова К.А. Морфология и гидрогеология гипсового карста. Пермь, 1979. 93с.
5. Горбунова К.А., Андрейчук В.Н., Костарев В.П., Максимович Н.Г. Карст и пещеры Пермской области. Пермь: Перм. гос. ун-т, 1992. 200 с.
6. Катаев В.Н. Теория и методология структурно-тектонического анализа в карстоведении: Дис. ... д-ра геол.-минер.наук / ПермГУ.-Пермь, 1999.-451с. (на правах рукописи).
7. Лукин В.С. Карстовые рвы в районах развития сульфатных отложений // Гидрогеология и карстоведение. Пермь, 1966. Вып. 3. С.86 – 96.
8. Лукин В.С. Условия и этапы формирования Кунгурской пещеры // Карст Урала и Приуралья. Пермь, 1968.
9. Назаров Н.Н. Карст Прикамья. Физико-географические (геоморфологические) аспекты. Пермь, 1996. 95 с.
10. Печеркин И.А. Геодинамика побережий камских водохранилищ. Часть II. Геологические процессы. Пермь, 1969. Глава шестая «Карст». С. 207-259
11. Сабуров Д.Н. Физико-географические условия и районирование Пинего-Северодвинской карстовой области // Пещеры Пинего-Северодвинской карстовой области. Л., 1974. С.37 – 45.
12. Соколов Д.С. Основные условия развития карста. М.: Госгеолтехиздат, 1962. 322с.
13. Ступишин А.В. Равнинный карст и закономерности его развития на примере Среднего Поволжья / Казан. ун-т. Казань, 1967. 291с.
14. Катаев В.Н., Щербаков С.В., Золотарев Д.Р., Лихая О.М., Ковалева Т.Г. Влияние геологического строения территории на распределение карстовых форм (на примере территории г. Кунгура) // Вестник Пермского университета. Геология. 2009. № 11. С. 77-93.

ВОЗМОЖНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ОДНОМЕРНОГО СТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА СВОЙСТВ ПОКРОВОВ ДЛЯ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОЦЕНКИ ОДНОРОДНОСТИ КАРСТОВОГО МАССИВА

Статья посвящена вопросам изучения перекрывающих отложений, в частности физико-механических свойств, слагающих их грунтов. На примере конкретного карстового массива проведена предварительная оценка его однородности посредством одномерного статистического анализа значений физико-механических свойств глинистых грунтов, перекрывающих карбонатные породы. Дана подробная характеристика изучаемого карстового массива. Показано изменение характера распределения свойств перекрывающих грунтов в зависимости от наличия или отсутствия элементов ослабления в толще карбонатов на участках массива относительно однородных в структурно-тектоническом, геоморфологическом и геологическом плане.

Ключевые слова: зона дробления, карстовая полость, покровная толща, физико-механические свойства

E.V. Drobina, D.R. Zolotarev
LLC «Karst-Control and Bank Protection», Perm
Perm State University, alenadrobina@yandex.ru

APPLICABILITY OF ONE-DIMENSIONAL STATISTICAL ANALYSIS OF THE GEOTECHNICAL PROPERTIES OF THE OVERLYING SOIL FOR THE KARST MASSIVE UNIFORMITY PRE-ESTIMATE

The main aim of the article is the study of overlying soil, especially its geotechnical properties. The karst massive uniformity pre-estimate is carried out on the example of the specific karst massive by applying one-dimensional statistical analysis of the geotechnical properties of the clay soils overlying carbonate rocks. The studied massive is characterized in details. The alteration of the overlying soils properties distribution depending on the presence or absence of crushed zones and karst cavities in carbonates is shown for the areas, which are homogeneous in tectonic, geomorphological and geological circumstances.

Key words: crushed zone, karst cavity, overlying soil, geotechnical properties

Массив карстующихся пород – геосистема, стремящаяся к морфологическому, гидродинамическому и гидрохимическому балансу с меняющимися условиями. В случае дисбаланса происходит активизация экзогенных (в том числе карстовых, суффозионных, гравитационных) явлений или прекращение существования ряда из них [5].

Опасность присутствия элементов ослабления в карстовом массиве заключается, главным образом, в спонтанном обрушении грунтов в карстовую полость

вследствие потенциального увеличения в процессе растворения морфометрических параметров существующих полостных форм и дизъюнктивов до критических размеров. Наиболее верный способ оценки подземной закарстованности массива – прямые наблюдения по результатам карстологического бурения, однако, зачастую экономически целесообразная густота сети карстологических выработок недостаточна для достоверной оценки подземной закарстованности.

Недоступность непосредственного наблюдения за развитием карстового процесса на глубине определяет необходимость использования более или менее общих закономерностей его протекания, и в соответствии с этими закономерностями, осуществления оценки степени устойчивости закарстованных территорий [1].

Помимо общих закономерностей развития процесса карстообразования в растворимой толще массива, несомненно, следует учитывать и возникающие эффекты в покровной толще, о чем свидетельствуют, например, результаты исследования В.С. Крашенинникова и В.П. Хоменко [6,7]. Развитие полостей в растворимой толще происходит в течение периода достаточного для формирования в покровной толще грунтов некоторых признаков подготовки процесса провалообразования. Практика выявления этих признаков, несомненно, повышает объективность оценки карстовой опасности территории, особенно в случае отсутствия в ее пределах поверхностных форм карста.

Вопрос изучения перекрывающей толщи при условии присутствия элементов ослабления в карстовом массиве поднимается в работе В.М. Кутепова [8], в которой рассматривается проблема устойчивости сводовой части карстовой полости в зависимости от литологического строения перекрывающей толщи. Согласно В.М. Кутепову от физико-механических свойств и водопроницаемости пород, перекрывающих ослабленные зоны в массиве, наряду с такими свойствами как строение массива, степень закарстованности пород, гидрогеологические особенности зависит механизм формирования карстового провала, без понимания которого невозможны объективная оценка карстоопасности и назначение адекватного ей комплекса противокарстовых мероприятий.

Под ослабленными зонами здесь понимаются зоны древних и современных карстовых нарушений, представленные глыбами, щебнем, дресвой и мукой, пронизанные серией мелких карстовых полостей и трещин. В качестве заполнителя, как правило, выступают слабоуплотненные глинистые грунты, характеризующиеся повышенной сжимаемостью и аномальными значениями показателей физико-механических свойств [9]. В сущности, данное понятие характеризует участки карстового массива, отнесенные в авторском исследовании к элементам его ослабления.

Примечательно, что большинство авторов [2, 3, 4, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15] рассматривают влияние на физико-механические свойств грунтов перекрывающей толщи карстовых полостей именно критического диаметра, т.е. такого, при достижении которого покровная толща обрушится в полость вследствие превышения сдвигающими силами прочностных параметров грунтов. Однако наличие элементов ослабления в карстовом массиве, не достигших на опреде-

ленный момент времени критических размеров, не исключает вероятность провалообразования в будущем при развитии карстового процесса, что определяет интерес к изучению влияния на физико-механические параметры перекрывающей толщи полостей и дизъюнктивов любого размера.

В данной работе предлагается исследовать физико-механические свойства грунтов глинистой перекрывающей толщи. В отличие от несвязных грунтов, частицы которых могут перемещаться в карстовую полость—приемник как в воздушно-сухом, так и водонасыщенном состоянии независимо от интенсивности и направления фильтрации, водоупорные глинистые слои временно останавливают вертикальный рост области деформирования. Карстовая полость, сформированная в подошве глинистого водоупора при достижении критических размеров, приведет к изгибу пласта и его обрушению, которое, в ряде случаев, может достигнуть земной поверхности [2].

На основе анализа изменчивости физико-механических свойств на начальном этапе исследования карстового массива предлагается предварительно оценить его однородность: наличие в толще карстующихся пород элементов ослабления. В работе исследованы: плотность грунтов, коэффициент пористости, угол внутреннего трения и удельное сцепление.

В качестве исследуемого объекта выбрана часть территории Московской области на участке прохождения трассы высокоскоростной магистрали. В геоморфологическом отношении исследуемая территория представляет собой пологоволнистую равнину, пересеченную хорошо разработанной долиной реки Клязьмы и ее притоков. Приуроченность территории к аккумулятивному пологому склону долины р. Клязьмы, являющейся основной дреной на изучаемой территории, и придолинному участку междуречья, в зоне сочленения с террасами выраженному пологим склоном, может благоприятствовать развитию карстового процесса вследствие хорошего водообмена, особенно на участках неглубокого залегания карбонатов.

В геологическом строении приповерхностной части территории принимают участие породы четвертичной (Q), юрско-меловой (J_3-K_1) и каменноугольной (C_3) систем. С поверхности под четвертичными отложениями преимущественно залегают отложения терригенной сероцветной формации юрско-мелового возраста. Вместе с тем, в пределах данной территории бурением зафиксированы участки отсутствия коренного глинистого водоупора, где четвертичные отложения подстилаются каменноугольными карбонатными породами. Четвертичные отложения наиболее широко представлены песчано-глинистыми грунтами аллювиального и флювиогляциального генезиса, что обусловлено палеогеографическими обстановками в четвертичное время: несколькими оледенениями и сменяющими их эпохами межледниковья. Юрско-меловые образования сложены, главным образом, глинами, реже песками с прослоями супесей. Каменноугольные отложения представлены преимущественно закарстованными в верхней части толщи доломитами и известняками с подчиненными прослоями глин, песчаников и мергелей.

На исследуемой территории поверхностные карстопроявления в основном представлены карстовыми воронками (211 шт.) и понижениями (106 шт.). Диаметры карстовых воронок варьируют в пределах 10,0-15,0 м, глубина до 4,0-5,0 м, за исключением небольшого числа древних выположенных форм с диаметрами, достигающими 30-35 м и глубиной до 6,0 м. Данный факт объясняется геологическим строением территории: низкой скоростью растворения карбонатных пород с одновременной кольматацией трещин доломитовой мукой и вынесенным из перекрывающей толщи материалом, отсутствием известковых и карбонатных включений в юрских глинах, на большей части, служащих водопором, предотвращающим проникновение пресных вод в толщу карстующихся пород.

Подземная закарстованность в равной мере характерна как для доломитов, так и для известняков. Элементы ослабления карстового массива представлены карстовыми полостями различной формы и размеров, без заполнителя или с заполнителем, преимущественно песчаным при подчиненном значении дресвяно-щебенистого и глинистого материала. Незаполненные (140 шт.) карстовые полости вскрываются на глубинах от 4,5 м до 58,5 м, большая их часть приурочена к доломитам, вертикальная амплитуда варьирует от 0,1 м до 4,5 м, при среднем значении – 0,4 м. Заполненные полости (106 шт.) вскрыты на глубинах от 7,3 до 65,4 м, их вертикальная амплитуда варьирует от 0,1 до 5,4 м, при среднем значении 1,0 м.

Таким образом, для рассматриваемой территории характерно развитие малых по высоте незаполненных подземных пустот. Можно предположить, что такие полости также имеют незначительные радиусы и дискретное распространение по площади, крупных карстовых систем полости не формируют. Согласно А.В. Аникееву [3] на территории г. Москвы, расположенной восточнее изучаемого участка и характеризующейся аналогичными природными условиями, чаще встречаются не единичные крупные полости или широкие трещины, а зоны повышенной трещиноватости и пустотности.

Помимо карстовых полостей широкое развитие в массиве пород получили зоны дробления, количество которых на исследуемой территории достигает 2250. Это связано со структурно-тектоническим планом изучаемой территории: трасса проходит вдоль тектонически ослабленного участка – геологического разлома, ограничивающего с севера Подмосковную впадину, осложняющую Московскую синеклизу. В пространственном расположении зоны дробления совпадают с ареалами развития полостей, являясь индикаторами их наличия. Все зоны дробления на площадке изысканий представлены доломитами и известняками сильнотрещиноватыми, сильновыветрелыми, часто до рухлякового состояния. Вертикальная амплитуда зон дробления варьируют от 0,1 до 35,9 м при среднем значении 4,6 м. Зоны дробления развиты в интервале глубин от 2,0 до 105,1 м. В большинстве скважин первый от поверхности элемент ослабления зафиксирован бурением на глубинах до 2,5 м.

Принимая в расчет динамический характер развития карстового массива, а, следовательно, и грунтов перекрывающей толщи, несложно предположить, что

уловить изменения значений физико-механических свойств, связанные именно с влиянием элементов ослабления карстового массива на перекрывающую толщу, весьма сложно. Дополнительные трудности в проведении анализа могут возникнуть вследствие большой площади исследуемой территории, захватывающей участки разного геологического и геоморфологического строения, поэтому необходимо предварительное районирование территории. Такой подход к решению вопроса оценки влияния элементов ослабления на физико-механические свойства грунтов дисперсной перекрывающей толщи позволит исключить, в значительной мере, влияние других факторов.

Здесь предлагается предварительная оценка, которая может на начальном этапе исследования карстового массива быть полезной для обоснования дальнейших исследований его неоднородности, обусловленной наличием элементов ослабления в карстующихся породах. Проследим изменения свойств юрских глин в целом на территориях, характеризующейся схожим геологическим строением: наличием над карстующимися породами выдержанного глинистого водоупора мощностью 5-15 м без разделения на квазиоднородные участки.

С целью выявления характера возможного влияния на перекрывающие грунты элементов ослабления применен одномерный статистический анализ. Задача статистического анализа состоит в том, чтобы по значениям изучаемого свойства в выборке сделать с определенной вероятностью заключение о значениях этого свойства во всей генеральной совокупности. Наиболее полной и исчерпывающей характеристикой генеральной совокупности служит закон или функция распределения, устанавливающие связь между значениями случайной величины и соответствующими им вероятностями. Закон распределения может быть выражен графически: в виде кривой распределения, или аналитически.

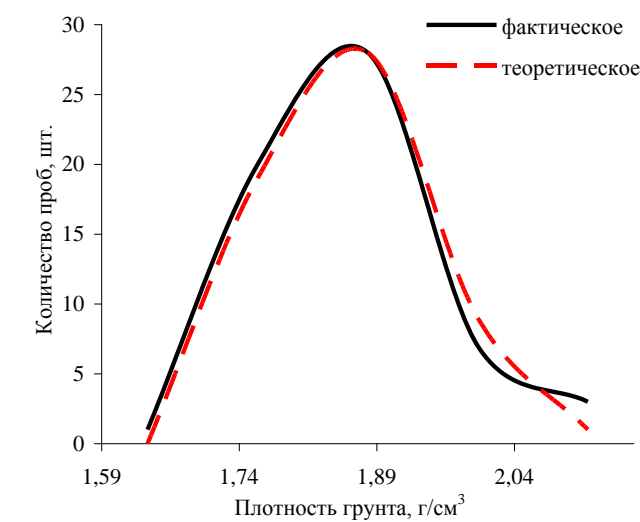
Ниже в качестве примера приводятся кривые распределения плотности грунта с описательной статистикой, полученной исходя из теоретического закона распределения, наиболее точно описывающего распределение, полученное по эмпирическим данным. На графиках приводятся тип распределения, среднее значение и среднеквадратичное отклонение. Перечисленные статистические параметры позволяют наметить диапазон наиболее характерных значений свойства для исследуемых условий (рис. 1).

Если посмотреть на кривые распределения значений исследуемых свойств нетрудно заметить, что в различных условиях статистические параметры (среднее значение и стандартное отклонение), описывающие распределение значений отличаются незначительно. То есть использование такого подхода нецелесообразно при исследовании влияния подземных карстовых форм на свойства перекрывающих грунтов, в отношении параметров, изменения которых под влиянием внешних факторов колеблются в пределах единиц, а для плотности и коэффициента пористости грунтов – десятых и сотых долей единицы.

Однако здесь следует обратить внимание на характер отклонения эмпирических кривых от теоретических. В условиях отсутствия элементов ослабления, наблюдается практически полная сходимость графиков, особенно по распределению значений физических свойств. Для условий развития элементов ослаб-

ления на контакте перекрывающих и карстующихся пород и в толще последних даже при большом количестве наблюдений сходимость графиков хуже, распределение часто приобретает слабо выраженную бимодальность.

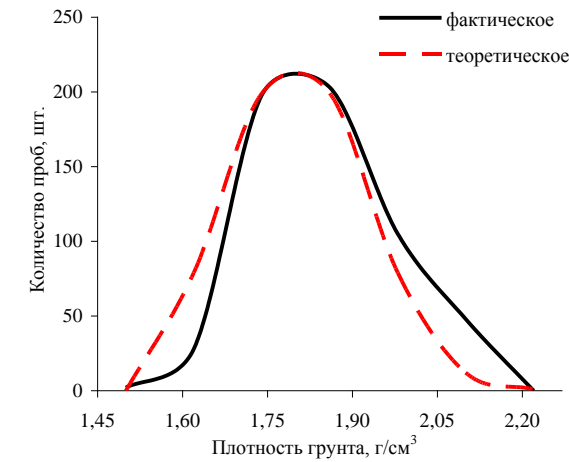
Элементы ослабления отсутствуют



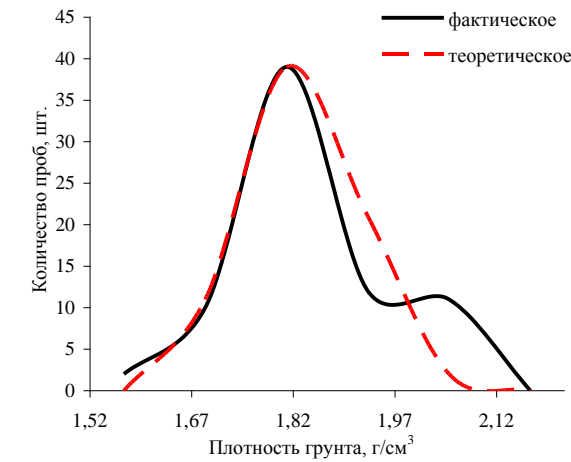
Среднее значение	1,79
Стандартное отклонение	0,09
Тип распределения	норм.

Элементы ослабления развиты на контакте карстующихся пород и перекрывающей толщи

Элементы ослабления развиты в карстующихся породах до глубины 5,0 м от кровли



Среднее значение	1,74
Стандартное отклонение	0,12
Тип распределения	норм.



Среднее значение	1,77
Стандартное отклонение	0,08
Тип распределения	норм.

Рис. 1. Типовые кривые распределения значений плотности юрских глин

Для большей надежности гипотеза о соответствии эмпирического распределения теоретическому для всех условий проверена с помощью критерия Колмогорова (критерия λ). Численно критерий λ равен максимальному отклонению эмпирических накопленных частот от теоретических. Графически критерий λ

соответствует максимальному расстоянию между эмпирической и теоретической кумулятивными кривыми. Для принятия решения о соответствии эмпирического распределения теоретическому рассчитанное значение λ_p сравнивают с теоретическим (критическим) λ_t для принятого уровня значимости α . Теоретическое λ_t не зависит от объема выборки и числа степеней свободы, а определяется только уровнем значимости, в частности, при $\alpha = 0,05$, $\lambda_t = 1,36$. Если $\lambda_p < \lambda_t$, то с вероятностью $p = 1 - \alpha$ нулевая гипотеза о том, что эмпирическое распределение не противоречит нормальному, принимается. Рассчитанные критерии λ_p представлены в таблице 1.

Таблица 1. Критерии Колмогорова для различных условий

Физико-механические свойства	Критерии Колмогорова λ_p для различных условий развития элементов ослабления:			Критический критерий λ_t
	отсутствуют	на контакте перекрывающих и карстующихся пород	в толще карстующихся пород до глубины 5,0 м	
Плотность грунта	0,4	1,2	1,3	1,36
Коэффициент пористости	0,3	1,3	0,4	
Угол внутреннего трения	1,0	1,3	1,2	
Удельное сцепление	0,3	0,5	0,6	

Таблица 1 подтверждает аналитически, то, что продемонстрировано на графиках. В условиях развития элементов ослабления на контакте с перекрывающей толщей или в толще карстующихся пород, критерий Колмогорова несколько выше. Иными словами, неоднородность в толще карстующихся пород, обусловленная развитием элементов ослабления, может найти выражение в неоднородности распределения свойств перекрывающих отложений. То есть над элементами ослабления значения свойств отложений подчиняются нормальному закону, но эмпирические кривые имеют большие отклонения от теоретических, чем в условиях относительной однородности толщи карстующихся пород.

Вывод. Таким образом, проведение детального анализа физико-механических свойств перекрывающих грунтов требует предварительного выделения квази-однородных участков путем районирования не только по структурно-тектоническому и геологическому признаку, но и по геоморфологии. Однако на начальном этапе исследования для предварительной оценки неоднородности карстового массива, обусловленной наличием элементов ослабления, использование данного подхода вполне целесообразно. Следует отметить достоинство предложенного анализа: данные привлекаются из параллельно проводимых инженерно-геологических изысканий, без проведения специализированных исследований.

Библиографический список

1. Толмачев В.В. Вероятностный подход при оценке устойчивости закарстованных территорий и проектировании противокарстовых мероприятий // Инженерная геология. №3. 1980. С. 98-107.
2. Аникеев А.В. Провалы в районах покрытого карста как результат массовой суффозии песков и разрушения глин // Карстоведение – XXI век: теоретическое и практическое значение: Материалы междунар. симпозиума. Пермь: Изд-во Перм. ун-та, 2004. С. 216-220.
3. Аникеев А.В. Провалы и воронки оседания в карстовых районах: механизмы образования, прогноз и оценка риска. Москва: РУДН, 2017. 328 с.
4. Архидьяконовских Ю.В. Моделирование процессов суффозии и гидроразрыва гидросферы. Учебное пособие по спецкурсу. Пермь: Перм. ун-т, 1983. 88 с.
5. Катаев В.Н. Теория и методология структурно-тектонического анализа в карстоведении. Дис. ... д-ра геол.-минер.наук. Пермь, 1999. 451 с. (на правах рукописи).
6. Крашенинников В.С., Хоменко В.П. Изучение покрывающей толщи, как один из важнейших компонентов инженерных изысканий в районах покрытого карста // Вестник МГСУ. № 5. 2011. С. 113-119.
7. Крашенинников В.С., Хоменко В.П. Покрытый карст: необходимые условия, причины и признаки подготовки провалообразования. Промышленное и гражданское строительство. № 11. 2013. С. 6-8.
8. Кутепов В.М. Оценка устойчивости закарстованных территорий методом анализа напряженного состояния массивов пород. Обзор и рекомендации. М.: ЦП НТГО, 1986. 69 с.
9. Кутепов В.М., Березкина Г.М. и др. Карстовые процессы и инженерно-геологические свойства глинистых пород // Инженерная геология. № 4. 1984. С. 91-103.
10. Кутепов В.М., Кожевникова В.Н. Устойчивость закарстованных территорий. М.: Наука, 1989. 151 с.
11. Кутепов В.М., Кожевникова В.Н. Изучение массивов пород для прогноза карстовой опасности // Противокарстовая защита объектов строительства: Материалы всесоюзного научно-технического совещания. 4-7 сентября 1990 г./ под. ред. Г.А. Дружинина. Куйбышев, 1990. С. 11-16.
12. Хоменко В.П. Карстово-суффозионные процессы и их прогноз. М.: Наука, 1986. 96 с.
13. Хоменко В.П. Закономерности и прогноз суффозионных процессов. М.: ГЕОС, 2003. 216 с.
14. Хоменко В.П. Карстово-обвальные провалы «простого» типа: полевые исследования // Инженерная геология. № 4. 2009а. С. 40-48.
15. Хоменко В.П. Карстово-обвальные провалы «сложного» типа: физическое моделирование // Инженерная геология. № 3. 2009б. С. 34-41.
16. Дробинина Е.В., Ковалева Т.Г., Корякина А.В., Катаев В.Н. Анализ локальной изменчивости физико-механических свойств покровной толщи как метод оценки карстоопасности (на примере с. Усть-Кишерть) // Вестник Пермского университета. Геология. 2017. Т. 16. № 3. С. 242-255.

МЫШЬЯК В СРЕДООБРАЗУЮЩИХ КОМПОНЕНТАХ ТЕРРИТОРИИ РАЗРАБОТКИ ВЕРХНЕКАМСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ СОЛЕЙ

В публикации затрагивается проблема рассеивания и накопления мышьяка в гумидных условиях Пермского края в зоне влияния Верхнекамского месторождения калийно-магниевого солей. Результаты исследования показали повышенное содержание мышьяка в средообразующих компонентах рассматриваемой территории, где в характерных гумидных условиях, выраженных избытком влаги на фоне низкого испарения, биологическая активность мышьяка остается высокой на протяжении десятилетий, первичные соединения при этом трансформируются в направлении повышения токсичности.

Ключевые слова: мышьяк, почвы, донные отложения, поверхностные воды, Верхнекамского месторождения калийно-магниевого солей.

V.I. Zhdakaev
Natural science Institute "Perm state University", slava.zhdakaev@yandex.ru

ARSENIC IN THE ENVIRONMENT-FORMING COMPONENTS OF THE VERKHNKAMSKOE SALT DEPOSIT DEVELOPMENT AREA

The publication addresses the problem of dispersion and accumulation of arsenic in the humid conditions of the Perm region in the zone of influence of the Verkhnekamsk potassium-magnesium salt deposit. The study results have shown an increased arsenic content in surface water, soils and bottom sediments of the territory in question, where in the characteristic humid conditions, expressed by excess moisture against low evaporation, the biological activity of arsenic remains high for decades, the primary compounds are transformed in the direction of increasing toxicity.

Key words: arsenic, soils, bottom sediments, surface waters, Verkhnekamskoe potassium-magnesium salt deposit.

Мышьяк – технофильный химический элемент первого класса экологической опасности, характеризующийся высокой токсичностью и канцерогенными свойствами по отношению к теплокровным организмам. В малых концентрациях он широко распространен в геологической среде, особенно характерен для осадочных отложений. По уточненным данным кларк мышьяка для верхнего осадочного слоя земной коры составляет 1,8 мг/кг [1]. В настоящее время согласно временному директиве Всемирной организации здравоохранения, предельная концентрация мышьяка в питьевой воде составляет 0,01 мг/дм³, до 1993 г. – 0,05 мг/дм³. Наиболее промышленно развитые страны приняли первую величину как установленный законом предел, хотя большинство развивающихся стран продолжает использовать в качестве национального стандарта значение ВОЗ до 1993 г. из-за трудностей с аналитическим обнаружением и соблюдением установленных требований [2]. Мышьяк, как подвижный элемент, подвер-

жен различным физико-химическим процессам. При изменении условий он окисляется, восстанавливается, метилируется, улетучивается, адсорбируется или десорбируется. В почвенном растворе всегда присутствует некоторое количество мышьяка, включая формы, доступные для поглощения растениями. Подвижность и биодоступность мышьяка в почвах и породах контролируется процессами адсорбции и десорбции [3].

При добыче и переработке полезных ископаемых мышьяк рассеивается в атмосфере с неорганическими поллютантами, сбрасывается со сточными водами, складывается в отвалах твердых отходов, из которых вымывается атмосферными осадками, загрязняя поверхностные и подземные воды. Под влиянием рассеивания в природной среде формируются устойчивые очаги загрязнения, представляющие экологическую опасность.

Несмотря на множество источников рассеивания мышьяка, системный эколого-геохимический контроль за загрязнением природной среды его соединениями во многих промышленных регионах, в том числе в Пермском крае, отсутствует, что крайне важно на фоне растущих объемов добычи, территориального расширения производственных мощностей общего ухудшения экологической ситуации и здоровья населения. Цель исследования – оценка техногенного рассеивания и аккумуляирования мышьяка в зонах влияния Верхнекамское месторождение калийно-магниевых солей (ВКМКС) на компоненты окружающей среды.

Принято считать, что техногенная нагрузка формируется за счет рассеивания солевых ингредиентов, преимущественно хлоридов, в меньшей степени сульфатов натрия, калия, магния, присутствующих в производственных выбросах и сбросах. Именно этим ингредиентам уделяется наибольшее внимание при оценке экологических последствий добычи и переработки солей. Однако полученная в ходе оценок информация, свидетельствует, что перечисленные ингредиенты не единственные источники загрязнения.

Программа исследований: геохимическая характеристика рассеивания мышьяка; обзор причин миграции и аккумуляирования; рассмотрение возможностей регулирования миграции мышьяка. Исходными материалами исследования послужили результаты наблюдений (2017-2019 гг.) за микроэлементной нагрузкой на природную среду территории деятельности производственных объектов, осваивающих Верхнекамское месторождение калийно-магниевых солей.

При организации научно-исследовательской работы учитывалось, что геохимические отличительные черты мышьяка являются следствием его геохимических особенностей: химическое взаимодействие с серой, сурьмой и металлами (никелем, железом, свинцом, медью, цинком и др), что приводит к их ассоциированию на геохимических барьерах; высокой биохимической активности; высокой способностью растворяться в воде (мышьяк – активный водный мигрант); высокой адсорбционной и десорбционной активности; атмосферной летучести соединений при термических процессах. Эти особенности мышьяка определяют обширность области распространения.

Значимыми естественными факторами, способствующими накоплению мышьяка в почвенном покрове являются: кислотно-щелочные показатели вмещающего субстрата, климатические условия, гранулометрический состав и интенсивность биохимических процессов [4]. В водных потоках в основном перенос происходит преимущественно с пылеватыми частицами, таковыми обогащены как крупные (влекомые и взвешенные), так и наиболее мелкие коллоидные фракции, перемещающиеся в составе руслового стока и плоскостного смыва, но осаждение и перемещение подвержено изменению внешними условиями, в первую очередь геолого-геоморфологическими, поэтому неоднородно [5]. Так же в биохимическом отношении мышьяк относится к элементам, которые активно захватываются биотой [6]. По мере отмирания растительности накопленная в ней масса мышьяка в составе прочих технофильных элементов возвращается в почвенный покров и устойчиво закрепляется в нем в составе органического вещества и на глинистых частицах. В условиях застойного режима влаги, дефицита увлажнения, нейтральной или щелочной реакции почвенной среды, мышьяк, поступающий в нее даже крайне малыми дозами, может сформировать экологически опасные очаги загрязнения [7]. Существенные концентрации этого элемента характерны для грунтов промышленных территорий [8, 9].

Данные по содержанию мышьяка в депонирующих средах и поверхностных водах на территории ВКМКС представлены в таблице. Полученные результаты демонстрируют, что средние концентрации мышьяка во всех типах почв превышают значения кларка для почв минимум в 4 раза, для донных отложений – более чем в 2,5 раза, для поверхностных вод – более чем в 17 раз, что свидетельствует о высокой миграционной и десорбционной активности мышьяка в водной среде.

Таблица. Обобщенные данные по содержанию мышьяка на территории разработки ВКМКС [8, 9]

Компонент	Ареал опробования	Количество проб	Диапазон концентраций, мг/кг			Оценка средних концентраций*
			Min-Max	Среднее значение	Стандартное отклонение	
Почвы	Зональные подзолистые на склонах и водоразделах	83	1,2-10,7	4,9	2,8	4,08
	Аллювиальные смыто-намытые в долинах рек	51	3,5-11,2	7,3	2,8	6,08
	Абротехноземы	23	2,15-39,37	9,5	7,4	7,92
Донные отложения		48	0,7-5,9	3,1	1,8	2,58
Поверхностные воды		48	2,1-25,3**	11,0	8,1	17,74

Примечание: * Для почв и донных отложений в сравнении с кларком для почв и глинистых сланцев соответственно по [10], воды в сравнении с кларком по [11]; ** диапазон концентраций и др. показатели по поверхностным водам в мкг/дм³.

Таким образом, результаты исследования показали повышенное содержание мышьяка в средообразующих компонентах территории разрабатываемых участков ВКМКС. В характерных для Пермского края гумидных условиях, выраженных избытком влаги на фоне низкого испарения, биологическая активность мышьяка остается высокой на протяжении десятилетий, первичные со-

единения при этом трансформируются в направлении повышения токсичности. Эти процессы существенно повышает уровень экологической опасности первичных соединений мышьяка, способствуя его выносу из загрязненных почв в поверхностные и подземные воды, поэтому требует углубленного изучения и контроля.

Библиографический список

1. Гринвуд Н., Эрншо А. Химия элементов. М.: Бином, 2008.
2. Smedley, P. L. Sources and distribution of arsenic in groundwater and aquifers //Arsenic in Groundwater: A World Problem: Seminar Utrecht 29 November 2006 /ed. T. Appelo. – Netherlands National Committee of the IAH, 2008. – P. 4–32. –URL: http://www.igrac.net/dynamics/modules/SFIL0100/view.php?fil_Id=107
3. Fendorf, S. Temporal changes in soil partitioning and bioaccessibility of arsenic, chromium, and lead / S. Fendorf, M. J. La Force, G. Li // J. of Environ. Quality. – 2004. – Vol. 33, N 6. – P. 2049–2055.
4. Водяницкий Ю.Н., Васильев А.А., Власов М.Н., Коровушкин В.В. Роль соединений железа в закреплении тяжелых металлов и мышьяка в аллювиальных и подзолистых почвах в районе г.Перми // Почвоведение, 2009. №7, с.794-805.
5. Елпатьевский П.В. Геохимия миграционных потоков в природных и природно-техногенных геосистемах. М.: Наука, 1993.
6. Добровольский В.В. Биосферные циклы металлов и регуляторная роль почвы // Почвоведение, 1997. №4, с.431-441.
7. 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. (г. Пермь, 30 мая – 2 июня 2019 г.); ПГНИУ. Т.2. Пермь, 2019. С.150-155.
8. Меньшикова Е.А., Ждакаев В.И. Экологическое состояния 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.
9. 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.
10. Овчинников Л.Н. Прикладная геохимия. М.: Недра, 1990.
11. Гордеев В.В., Лисицын А.П. Геохимическое взаимодействие пресноводной и морской гидросфер// Сибирское отделение Российской академии наук. Геология и геофизика. 2014. Т.55. №5-6. С.721-744.
12. Меньшикова Е.А., Блинов С.М. Эколого-геохимическое состояние донных отложений рек Кизеловского угольного бассейна в период после ликвидации шахт // Вестник Пермского университета. 2005. № 3. С. 167.
13. Осовецкий Б., Меньшикова Е.А. Миграция техногенных компонентов в речных долинах и ее влияние на состояние экосистем // Вестник Пермского университета. 1996. № 4. С. 113.

ОСОБЕННОСТИ МИГРАЦИИ ЙОДА И БРОМА В ПОДЗЕМНЫХ ВОДАХ ПЕРМСКОГО ПРИКАМЬЯ

В работе рассмотрены особенности формирования йодных и бромных вод на территории Пермского края. Области с высоким содержанием йода и брома в подземных водах приурочены, преимущественно, к нефтяным месторождениям. Оценены перспективы территорий в отношении промышленных вод.

Ключевые слова: миграция йода и брома, подземные рассолы, промышленные воды.

E.A. Ikonnikov, I.M. Tyurina
Perm State University, tyurinaim@mail.ru

FEATURES OF THE MIGRATION OF IODINE AND BROMINE IN THE UNDERGROUND WATERS OF THE PERM TERRITORY

In the work peculiarities of the forming of the iodine and bromine waters on the territory of the Perm are considered. Areas with a high content of iodine and bromine in underground waters are mainly confined to oil fields. The prospects of the territories in relation to industrial waters are evaluated.

Key words: migration of iodine and bromine, underground brines, industrial waters.

Подземные воды Прикамья характеризуются разнообразным микрокомпонентным составом. Наибольшее практическое значение имеют йодо-бромные подземные рассолы. Согласно гидрогеологическому районированию, исследованная территория Пермского края относится к Восточно-Русскому и Предуральскому сложным бассейнам пластовых вод. В тектоническом отношении это площадь Восточно-Европейской платформы и Предуральского прогиба [2].

Одной из важных задач гидрогеохимии является изучение процессов миграции компонентов в подземных водах. На миграцию химических элементов в подземных водах оказывают влияние как внутренние, так и внешние факторы. Внутренние факторы миграции обусловлены свойствами химической связи элементов и соединений, свойствами химических элементов, гравитационными и радиоактивными свойствами атомов. Они, в отличие от внешних факторов, остаются неизменными в течение геологического времени. Строение атомов определяет способность химических элементов образовывать соединения того или иного типа, устойчивость кристаллических тел к процессам растворения, обуславливает сорбционные и другие свойства минералов.

К внешним факторам, определяющим миграцию и накопление элементов, относятся литологический состав водовмещающих пород, минерализация и хи-

мический состав подземных вод, величины Ph и Eh, характер и количество растворённых органических веществ, температура и давление водной среды [3].

Йод и бром в настоящее время являются главнейшими компонентами промышленного значения, которые добывают, в основном, из подземных вод. В некоторых странах, при отсутствии подземных йодо-бромных вод, для получения йода используют морские водоросли, маточные растворы селитры, щёлок калийных производств. Йод и бром встречаются в виде следов в почвах, в живых организмах, в растениях, в различных породах [4].

Из сбросных вод нефтяных месторождений добывают 29% йода и 71% йода извлекают из специально добываемых подземных вод. Около 70% брома добывают из подземных вод и 30% извлекают из отходов калийного производства.

В пресных подземных водах, занимающих верхнюю часть зоны активного водообмена, йод и бром изучались на площади 20 тыс. км² при среднемасштабной гидрогеологической съёмке юга Пермского края [1].

Территория сложена преимущественно терригенными фациально невыдержанными по площади и разрезу породами пермского возраста. Пресные воды связаны с водоносными и локально водоносными (проницаемыми и водоупорными) казанско-татарскими и шешминскими гидрогеологическими подразделениями, а также с четвертичным аллювиальным горизонтом, распространённым по долинам рек. По химическому составу пресные воды гидрокарбонатные со смешанным катионным комплексом (Na-Mg-Ca, Mg-Ca-Na, реже Mg-Ca, Mg-Na) с минерализацией до 1,0 г/дм³.

По результатам опробования 78 родников бром и йод обнаружены в 34 родниках. Содержание брома изменяется от 0,3 до 10,9 мг/дм³, йода – от 0,4 до 5,5 мг/дм³. Средняя концентрация брома 2,8 мг/дм³, йода – 1,4 мг/дм³. Все родники находятся на загрязнённых углеводородами территориях, приуроченных к месторождениям нефти.

Из 44 родников, расположенных за пределами загрязнённых территорий, в 30 родниках бром и йод не обнаружены. В 14 родниках содержание брома 0,3-3,5 мг/дм³, йода – 0,4-2,1 мг/дм³, средние значения, соответственно 1,2 мг/дм³ и 0,5 мг/дм³.

Высокие концентрации брома и йода на загрязнённых нефтяных территориях, включающих разрабатываемые месторождения и площади разведочного бурения, объясняются поступлением этих веществ из пластовых нефтяных вод, содержащих бром и йод в больших количествах. При разливах их на поверхности земли бром и йод адсорбируются и накапливаются в глинистых почвах, из которых поступают в грунтовые воды, питающие родники. Примером могут служить родники на территории Осинско-Елпачихинского месторождения нефти и на площадях разведочного бурения Мазунинской, Сосновской и Кулигинской.

На Осинско-Елпачихинском месторождении обследованы родники казанско-татарских комплексов. Минерализация родниковой воды – 0,2-0,3 г/дм³, химический тип воды – гидрокарбонатный. По данным химического анализа проб из девяти родников бром обнаружен в восьми пробах, среднее содержание его 4,4

мг/дм³. Йод установлен во всех девяти пробах (таблица 1, 2). На площадях разведочного бурения (Мазунинской, Сосновской, Кулигинской) родники, опробованные на йод и бром, связаны с подземными водами шешминского терригенного комплекса, соликамской терригенно-карбонатной свиты и иренской карбонатно-сульфатной серии. Подземные воды гидрокарбонатные с минерализацией 0,1-0,5 г/дм³ (на отдельных участках – до 1,0 г/дм³) и сульфатные с минерализацией 1,0-3,0 г/дм³.

Таблица 1. Содержание микрокомпонентов в родниках на территории Осинско-Елпачихинского месторождения нефти (по данным проб из 9 родников)

Содержание, мг/дм ³					
Бром			Йод		
min	max	среднее	min	max	среднее
2,1	9,0	4,2	0,8	3,4	2,2

Таблица 2. Содержание микрокомпонентов в родниках на площадях разведочного бурения Мазунинской, Сосновской и Кулигинской (по данным проб из 8 родников)

Содержание, мг/дм ³					
Бром			Йод		
min	max	среднее	min	max	среднее
1,3	10,2	5,6	1,3	3,0	2,7

Таким образом, почти все родники с высоким содержанием йода и брома находятся на загрязнённых углеводородами площадях, приуроченных к месторождениям нефти. Известно, что характерным признаком подземных вод нефтегазовых месторождений является довольно часто фиксируемое повышенное содержание в них йода. Но выявлены нефтегазовые месторождения и с низким содержанием йода в подземных водах, что позволяет отнести йод к косвенным показателям наличия нефтегазовых залежей [5].

Микрокомпонентный состав подземных вод зоны затруднённого водообмена изучен по данным химического состава 199 проб воды палеозойских газонефтеводоносных комплексов. Содержание йода в подземных рассолах Прикамья изменяется в значительных пределах – от 0,5 до 144 мг/дм³ (таблица 3). Более высокое содержание йода характерно для территории Предуральяского прогиба, где подземные воды с содержанием йода более 18 мг/дм³ можно рассматривать, при соответствующих запасах, в качестве промышленных вод. Не выявлено чёткой связи между содержанием йода и минерализацией, глубиной опробования подземных вод (таблица 3).

Бром – анионогенный элемент, характеризующийся высокой растворимостью его соединений с основными катионами химического состава природных вод. Высокое содержание брома в растениях обуславливает его повышенное содержание в почвах, а затем и в подземной воде. Накопление брома в подземных рассолах связано с морскими водами и процессами галогенеза. Среднее содержание брома в морской воде – 65 мг/дм³, в подземных рассолах достигает 15 г/дм³ и более. Содержание брома в подземных водах газонефтеводоносных комплексов Пермского Прикамья изменяется от 13 до 1700 мг/дм³. С глубиной

и по мере роста минерализации подземных вод увеличивается содержание брома (таблица 3). Более высокое содержание брома характерно для территорий в пределах Предуральяского прогиба, что позволяет отнести подземные рассолы этих территорий к потенциально промышленным, если содержание брома в них более 250 мг/дм³. Высокое содержание брома в подземной воде является показателем условий, благоприятных для сохранения залежей нефти и газа, но, так же как и йод, не является однозначно показателем наличия залежи (Филатов, 1976).

Подземные рассолы Пермского Прикамья характеризуются почти повсеместно высоким содержанием йода и брома, что позволяет отнести их к промышленным йодо-бромным водам. Наличие высоких содержаний йода и брома в подземных водах зоны активного водообмена в пределах территорий нефтегазовых месторождений является доказательством справедливости рассмотрения этих микроэлементов в качестве косвенных признаков наличия нефтегазовых залежей.

Таблица 3. Содержание йода и брома в подземных водах газонефтеводоносных комплексов Пермского Прикамья

Регион	ГНВК	Минерализация, г/дм ³	Микрокомпоненты, мг/дм ³ .	
			I	Br
Платформа	Верхнекаменноугольно-нижнепермский	35-285	0,5-200	13-1450
Прогиб		30-280	2-46	20-1700
Платформа	Московский	116-265	6-27	269-1300
Прогиб		114-271	1-22	54-1100
Платформа	Верхневизейско-башкирский	215-270	5-20	230-833
Прогиб		130-280	4-35	210-1500
Платформа	Нижнесредневизейский	230-275	2,5-15	427-1000
Прогиб		130-268	4,8-84	209-1278
Платформа	Верхнедевонско-турнейский	275-300	5-20	395-900
Прогиб		100-280	10-144	200-1100
Платформа	Средневерхне-девонский	212-274	10-20	465-718

Библиографический список

1. Иконников Е. А., Алексеева Л. В. Отчёт о результатах работ по составлению гидрогеологической карты масштаба 1:500000 листов 0-40-А и 0-40-В за 1986-1990 г.г. Пермь, 1990. 248с.
2. Иконников И. А., Яковлев Ю. А., Шестов И. Н. Гидрогеология. // Минерально-сырьевые ресурсы Пермского края. Пермь, 2006. с. 111-123.
3. Кирюхин В. А. Общая гидрогеология. Санкт-Петербург, 2008. 440 с.
4. Славянова Л. В., Галицин М. С. Микрокомпоненты в подземных водах Прикаспийской впадины и прилегающих к ней районов юго-востока Русской платформы. Изд. «Недра». М., 1970. 172 с.
5. Филатов К. В. Основные закономерности формирования химического состава подземных вод и поисковые признаки нефтегазоносности. Изд. «Недра». М., 1976. 168 с.
6. Щукова И.В., Казаков В.Н. Особенности микрокомпонентного состава природных вод на территории г. Перми // Вестник Пермского университета. Геология. 2019. Т. 18. № 3. С. 205-212.

¹Е.А. Иконников, ²П.И. Бажутин, ³А.В. Корякина
ПГНИУ, Пермь, ²pavel.bazhutin.96@mail.ru, ³shilova-av@yandex.ru

КАРТА ЗАЩИЩЕННОСТИ И ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД ПЕРМСКОГО КРАЯ МАСШТАБА 1:500 000 (ОБЪЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА)

Приведены исследования, по оценке условий защищенности и загрязнения подземных вод Пермского края. Составлена карта защищенности и загрязнения подземных вод, включающая в себя: условия защищенности грунтовых вод, модуль техногенной нагрузки на территории края, области, и основные показатели загрязнения подземных вод, а также дополнительная информация повышающая детальность и информативность карты. По степени защищенности выделены четыре категории, характеризующиеся своей суммой баллов зависящей от глубины залегания грунтовых вод и мощности толщи слабопроницаемых пород.

Ключевые слова: гидрогеология, защищенность, загрязнение, балльная оценка, Пермский край, глубина залегания грунтовых вод, литология.

¹E.A. Ikonnikov, ²P.I. Bazhutin, ³A.V. Koryakina
Perm State University, Perm, ²pavel.bazhutin.96@mail.ru, ³shilova-av@yandex.ru

MAP OF UNDERGROUND WATER PROTECTION AND CONTAMINATION, SCALE 1:500 000 (EXPLANATORY NOTE)

Studies are given on the assessment of the conditions of protection and pollution of groundwater of the Perm region. A map of protection and contamination of groundwater has been compiled, including: conditions of protection of groundwater, a module of man-made load in the territory of the region, and the main indicators of groundwater pollution, as well as additional information increasing the detail and informativity of the map. According to the degree of protection, four categories are identified, characterized by their sum of points depending on the depth of groundwater and the thickness of the formation of permeable rocks.

Key words: hydrogeology, protection, pollution, grade assessment, Perm region, depth of groundwater, lithology.

Влияние техногенного воздействия на поверхности земли сказывается, в первую очередь, на грунтовых водах. Фильтрация стоков с поверхности земли в грунтовых воды, возможна практически всегда, так как зачастую являются безнапорными и не имеет в кровле надежного водоупора [2].

Карта составлена по методическим рекомендациям ВСЕГИНГЕО (1982, 1984) с дополнениями авторов, с учетом имевшихся материалов по Пермскому краю. Электронная версия карты выполнена А.В. Корякиной и П.И. Бажутиным (2019 г.) (рис. 1, 2).

Условия защищенности грунтовых вод оценены по сумме баллов, зависящей от природных факторов: мощности и литологии перекрывающей подземные воды толщи слабопроницаемых пород, а также глубины залегания грунтовых вод. Чем больше сумма баллов, тем лучше защищены подземные воды от загрязнения по природным условиям [1].

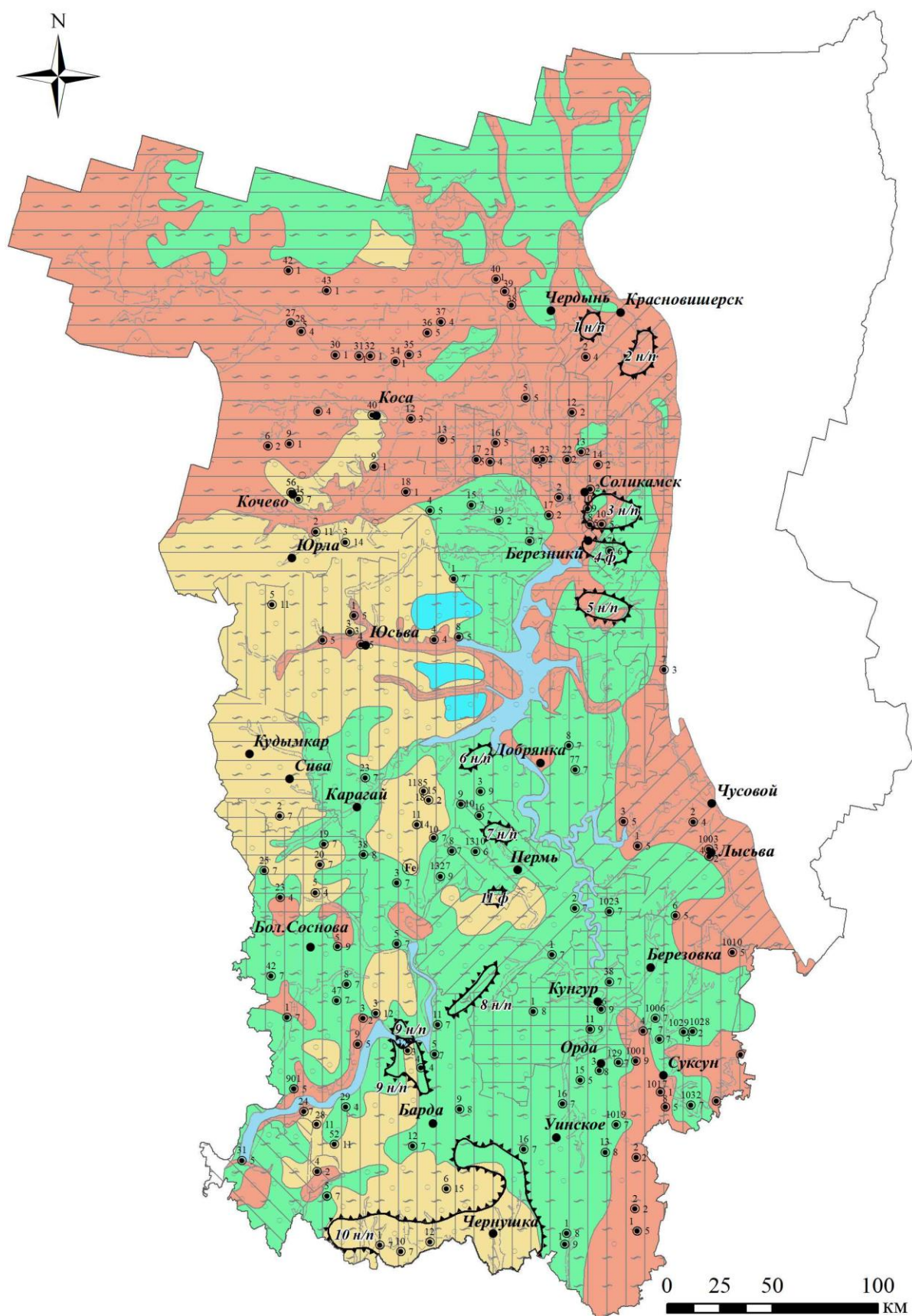













Рис. 1. Карта защищенности и загрязнения подземных вод Пермского края

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

Условие защищенности грунтовых вод в баллах

	Категория 1 (≤ 5 баллов)
	Категория 2 (6-10 баллов)
	Категория 3 (11-15 баллов)
	Категория 4 (16-20 баллов) По предположению (только по геофизическим данным)
	Нет значений

Модуль техногенной нагрузки на территорию (тыс. т/км²год)

	$< 0,1$		1-10		100-1000
	0,1-1,0		10-100		> 1000

Области и основные показатели загрязнения подземных вод

1. Области предполагаемого загрязнения подземных вод. Цифра внутри контура - номер области загрязнения по каталогу; буквы (символы) - загрязняющие компоненты. а) при протяженности области загрязнения более 15 км - знак в масштабе карты, б) при протяженности области загрязнения менее 15 км - знак внемасштабный






2. Основные показатели загрязнения
н/п - нефть и нефтепродукты, Ф - фенолы, Fe - железо

Водозаборы на которых отмечается загрязнение подземных вод

- II - (С>ПДК)
- а) расход водозабора в тыс. м³/сут (обозначается радиусом кружка (R))
 - б) степень загрязнения (отношение расхода загрязненных вод (Q_3) к общему расходу водозабора (Q))
 - в) основные показатели загрязнения:
н/п - нефть и нефтепродукты, Ф - фенолы, Fe - железо

Соотношение уровней грунтового и первого от поверхности напорного горизонтов

	$H < 0$		$H = 0$		$H > 0$ или $H = 0$
---	---------	---	---------	---	---------------------

56 5 Скважина. Цифры: сверху - номер скважины по таблице; справа: сумма баллов защищенности грунтовых вод

Точка ВЭЗ. Цифра: сумма баллов защищенности грунтовых вод



Граница Пермского края



Населенные пункты



Речная сеть

Рис.2. Условные обозначения к карте защищенности и загрязнения подземных вод

Баллы и категории защищенности определены по таблице Гольдберга, по скважинам с послойным описанием разреза зоны аэрации и данным о глубине уровня грунтовых вод, а в районах с единичными скважинами или их полным отсутствием, широко использовались ранее проведенные на территории края электроразведочные работы методом ВЭЗ. В точках ВЭЗ определялись глубина залегания грунтовых вод и суммарная мощность слабопроницаемых суглинистых и глинистых слоев, характеризующихся удельным электрическим сопротивлением ($УЭС$) менее 20 Ом×м и относящиеся к литологической группе «б».

По сумме баллов на исследуемой территории закартированы площади с первой, второй, третьей и четвертой категорией защищенности: категория 1 (≤ 5 баллов), категория 2 (6-10 баллов), категория 3 (11-15 баллов), категория 4 (16-20 баллов) [3].

Модуль техногенной нагрузки на территорию определялся по отношению годового количества всех видов отходов, вырабатываемых промышленными, сельскохозяйственными и коммунальными объектами к площади района, в пределах которого расположены объекты.

По модулю нагрузки, который по административным районам края изменяется от менее 0,1 до 1000 тыс. т/км²×год и более [4] выделены территории с модулем менее 0,1, 0,1-1,0, 1-10, 10-100, 100-1000 тыс. т/км²×год и более.

Области и основные показатели загрязнения подземных вод. Под областью загрязнения понимается часть площади водоносного подразделения (горизонта, комплекса, свиты) загрязненного техногенным источником. На рассматриваемой территории закартированы 11 областей загрязнения подземных вод приведенные в таблице 1, десять из которых являются лишь предполагаемыми, поскольку выделены по единичным водопунктам и носят эпизодический характер. Установленная область загрязнения выявлена только на площади водозабора «Конец Бор».

Основными показателями загрязнения подземных вод в областях являются нефть и нефтепродукты, железо, фенол. Девять предполагаемых областей находятся на участках нефтяных месторождений. Две области загрязнения, которые также являются предполагаемыми, связаны с загрязнением подземных вод фенолами. Источниками загрязнения служат ЛУКОЙЛ-Пермнефтеоргсинтез» (г. Пермь), и АО «Березниковский содовый завод» (г. Березники). Содержания фенола в подземных водах составляет 0,017 мг/дм³.

Загрязнение железом выявлено на участке водозабора «Конец Бор», однако природа загрязнения не ясная. Оно является установленным: закартировано по данным режимных наблюдений. Водозабор расположен на правом берегу Воткинского водохранилища. В состав водозабора входят 13 скважин с суммарной среднегодовой производительностью (Q) 4,09 тыс. м³/сут. Водоносный горизонт приурочен к песчано-гравийно-галечниковым аллювиальным отложениям четвертичного возраста третьей надпойменной террасы р. Кама. По данным режимных наблюдений в 5 скважинах установлено превышение содержания железа относительно нормы для питьевых вод в 1,5-7,0 раз (от 0,18 до 21,0 мг/дм³).

Таблица 1 – Области загрязнения подземных вод [4]

№ области	Название источника загрязнения	Местоположение источника загрязнения	Площадь области загрязнения, км ²	Наибольшая длина области загрязнения, км	Содержание характерных загрязняющих веществ, мг/дм ³		Загрязненное гидрогеологическое подразделение
					Среднее	Максимальное	
1	Федорцевское нефтяное месторождение	Красновишерский район, д. Федорцево	125	12,5	Нефть и нефтепродукты		Водопроницаемый локально слабоводоносный пешминский терригенный комплекс (P _{2ss})
					2,63	4,35	
2	Гежское нефтяное месторождение	Красновишерский район	225	22,5	Нефть и нефтепродукты		Водоносная кунгурская сульфатно-карбонатная-терригенная свита (P _{1k})
					0,886	1,61	
3	Чашкинское нефтяное месторождение	Соликамский район	325	26,0	Нефть и нефтепродукты		Водопроницаемый локально слабоводоносный пешминский терригенный комплекс (P _{2ss})
					16,01	34,65	
4	АО «Березниковский содовый завод»	г. Березники	187,6	20,0	Фенолы		Водоносная соликамская терригенно-карбонатная свита (P _{2slk})
					н.с.	н.с.	
5	Уньвинское нефтяное месторождение	Усольский район	262,5	22,5	Нефть и нефтепродукты		Слабоводоносный локально водоносный пешминский водоносный комплекс (P _{2ss})
					1,36	3,05	
6	Васильевское нефтяное месторождение	Ильинский район	150	15,0	Нефть и нефтепродукты		Водоупорный локально слабоводоносный казанско-татарский глинистый комплекс (P _{2kz-t})
					0,578	0,832	
7	Северокамское нефтяное месторождение	Район подчиненный г. Краснокамску	150	15,0	Нефть и нефтепродукты		Слабоводоносный локально водоносный пешминский терригенный комплекс (P _{2ss})
					0,438	0,876	
8	Баклановское нефтяное месторождение	Пермский район	162	32,0	Нефть и нефтепродукты		Водопроницаемый локально слабоводоносный казанско-татарский алевролитопесчаниковый комплекс (P _{2kz-t})
					0,159	0,194	

№ области	Название источника загрязнения	Местоположение источника загрязнения	Площадь области загрязнения, км ²	Наибольшая длина области загрязнения, км	Содержание характерных загрязняющих веществ, мг/дм ³		Загрязненное гидрогеологическое подразделение
					Среднее	Максимальное	
9	Осинско-Елпачихинское нефтяное месторождение	Осинский район	350	35,5	Нефть и нефтепродукты		Слабоводоносный локально водоносный казанско-татарский алевролито-песчаниковый комплекс (P ₂ kz-t) Слабоводоносный локально водоносный шешминский терригенный комплекс (P ₂ ss)
					0,209	0,496	
10	Батырбайское, Таныпское, Павловское, Шагирто-Гожанское нефтяные месторождения	Бардымский, Куединский, Чернушкинский районы	2437	7,3	Нефть и нефтепродукты		Водоносный локально слабоводоносный четвертичный аллювиальный горизонт (aQ)
					23,88	42,24	
				100,0	23,18	32,73	Слабоводоносный локально водоносный шешминский терригенный комплекс (P ₂ ss)
				-	4,53	11,06	Водоносная соликамская терригенно-карбонатная свита (P ₂ slk)
11	ЛУКОЙЛ-Пермнефтеорг-синтез	г. Пермь	58,25	7,5	Фенолы		Водоносный локально слабоводоносный четвертичный аллювиальный горизонт (aQ)
					-	0,017	

Суммарный расход загрязненных вод (Q_3) составляет 1,53 тыс. м³/сут. Отношение расхода загрязненных вод (Q_3) к общему расходу водозабора (Q), характеризующее степень загрязнения, равно 0,4.

На карте также приведены соотношения уровней грунтового и первого от поверхности напорного горизонта, скважины и точки ВЭЗ с суммой баллов защищенности.

Составленную карту (в комплексе с более поздними материалами) можно использовать для решения многих практических задач, связанных с охраной подземных вод и окружающей природной среды в целом, в частности, при выборе местоположения проектируемых объектов с учетом защищенности подземных вод, нагруженности районов техногенными отходами и размещения областей загрязнения с их характерными загрязняющими веществами.

Библиографический список

1. *Гольдберг В.М., Газда С.* Гидрогеологические основы охраны подземных вод от загрязнения. М.: Недра, 1984. 262 с.
2. *Заносова В.И.* К методологии эколого-гидрогеологических оценок состояния территорий. Ползуновский вестник №4-2 / Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова. Барнаул, 2011. С. 11-14.
3. *Иконников Е.А.* Природная защищенность вод Пермского Прикамья от поверхностного загрязнения. Гидрогеология и карстоведение: Межвуз. сб. научн. тр. / Пермь ун-т. Вып. 14. Пермь, 2002. С. 132-137.
4. *Иконников Е.А., Шашмурина Л.В., Мелехина Н.И.* Отчет по составлению серии гидрогеологических карт масштаба 1:500000 на территории Европейской части СССР (Предуралье в пределах территории Пермской и Свердловской области) за 1983-1985 гг. Пермь, 1985. 213 с.
5. *Методические рекомендации по составлению гидрогеологических карт Европейской части территории СССР масштаба 1:1500000.* М., ВСЕГИНГЕО, 1982.
6. *Методическое письмо №3 по составлению гидрогеологических карт Европейской части территории СССР масштаба 1:1500000.* М., ВСЕГИНГЕО, 1984.
7. *Щербаков С.В., Шилова А.В., Золотарев Д.Р.* Применение ГИС-технологий при мелкомасштабном районировании гидрогеологических условий (на примере Пермского края) // Вестник Пермского университета. Геология. 2016. № 1 (30). С. 6-13.

ОСОБЕННОСТИ НЕФТЯНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ И ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД В КАРСТОВЫХ РАЙОНАХ ЮГА ПЕРМСКОГО КРАЯ

Разработка нефтяных месторождений в Пермском крае связана с загрязнением почв, грунтов, подземных и поверхностных вод. Причинами загрязнения являются утечки нефтепродуктов при работе технологического оборудования и в результате недостаточности изоляции флюидоупора над нефтяной залежью. Скорость миграции нефтяного загрязнения зависит от природных условий, особое значение приобретают коллекторские свойства грунтов и горных пород. В карстовых районах миграция загрязнения нефтепродуктами происходит по карстовым коллекторам (закарстованные трещины, каверны, пещеристые полости). При этом от первичного очага нефтяное загрязнение быстро попадает в водоносные горизонты и проявляется в местах их разгрузки в зонах горизонтальной и сифонной циркуляции трещинно-карстовых вод, где формируются вторичные линзы, являющиеся природными ловушками.

Ключевые слова. Нефтяное загрязнение, карст, природные ловушки.

Kilin Yu. A., Minkevich I. I.
Perm State University, iks-org@mail.ru

FEATURES OF OIL POLLUTION OF UNDERGROUND AND SURFACE WATERS IN THE KARST REGIONS OF THE SOUTH OF THE PERM TERRITORY

The development of oil fields in the Perm Region is associated with the pollution of soils, ground, underground and surface waters. The causes of contamination are leaks of petroleum products during the operation of technological equipment and as a result of insufficient insulation of the fluid barrier over the oil deposit. The rate of migration of oil pollution depends on natural conditions, and the reservoir properties of soils and rocks are of particular importance. In karst areas, the migration of oil pollution occurs through karst reservoirs (karst cracks, caverns, cavernous cavities). At the same time, from the primary source, oil pollution quickly enters the aquifers and manifests itself in the places of their discharge in the horizontal and siphon zones.

Keywords. Oil pollution, karst, natural traps

Основным негативным последствием разработки нефтяных месторождений является загрязнение пресных поверхностных и подземных вод хлоридами, нефтепродуктами и другими загрязняющими веществами. Основными причинами поступления этих веществ в подземные водоносные горизонты и поверхностные водоемы являются следующие причины: фильтрация из буровых котлованов через дно и стенки объекта; инфильтрация с действующих промышленных площадок; подъем минерализованных вод снизу по некачественному

зацементированному за колонному пространству скважин в верхнюю гидродинамическую зону.

Ф.И. Тютюнова выделяет 3 типа нефтяного загрязнения подземных вод:

- 1) сырой нефтью;
- 2) минерализованными пластовыми и сточными водами;
- 3) продуктами нефтехимического синтеза.

Ореолы нефтяного загрязнения могут прослеживаться на расстоянии нескольких километров. Они сохраняются весьма долго (десятки лет), оцениваются на большой спектр различных показателей, что говорит о сложности их изучения. Периферии ореола наблюдаются растворённые формы углеводорода в воде [1].

Изучением миграции нефтяного загрязнения посвящены работы В.М. Шестакова, Б.В. Боровского, наиболее полно зональность загрязнения в грунтах зоны аэрации отмечается в работах В.М. Гольдберга, который выделил восемь зон.

Для рек бассейна р. Ирень характерно постоянное загрязнение поверхностных вод нефтепродуктами, что связано с интенсивным развитием нефтедобывающей промышленности. На территории бассейна расположено 20 действующих нефтяных месторождений (рис.1), 7 магистральных и 3 внутри промысловых газопровода, 4 нефтепровода.

По материалам научной экспедиции кафедры динамической геологии и гидрогеологии ПГНИУ, в июле 2018г наибольшее значение содержания нефтепродуктов (свыше $10,0 \text{ мг/дм}^3$) отмечено в 7 из 45 проб, также в 3 пробах содержание нефти свыше 1 мг/дм^3 , и всего лишь в 4 образцах содержание нефтепродуктов не превышает ПДК (для рыбохозяйственных водоемов).

Наибольшее загрязнение нефтепродуктами ($>10,0 \text{ мг/дм}^3$) отмечено в верхнем течении реки Ирень, в районе сёл Верх Ирень, Антягузи, Енапаево и д. Уразметьево. Данные участки приурочены к Енапаевскому, Дороховскому и Казаковскому месторождениям нефти. Наличие нефтепродуктов на данных участках может быть вызвано природно-техногенными факторами.

Так же отмечены очаги загрязнения, приуроченные к карстовым родникам в истоках р. Каменка, д. Павлово р. Тураевка, р. Ясыл. Стоит отметить, что в 2016 году, в устьях рек впадающих в р.Ирень нефтяное загрязнение не отмечалось, что указывало на его очаговое распространение. Однако в 2018г на устьевых участках было отмечено содержание нефтепродуктов, превышающих ПДК (до $0,07 \text{ мг/дм}^3$). Это свидетельствует о продвижении фронта загрязнения в сторону р. Ирень.

Очаги загрязнения, находящиеся в д. Павлово на р. Тураевка, р. Ясылке и р. Каменке приурочены к Кокуйскому месторождению нефти. Нефть Кокуйского месторождения средняя по плотности, вязкая, парафинистая, смолистая. Плотность (кг/м^3) колеблется в пределах 643-822; вязкость ($\text{мПа}\cdot\text{с}$) 1,37-3,21; парафин (%) 2,58-6,93; содержание серы (%) 0,63-2,71. Специфические свойства нефти (высокие плотность и вязкость) характеризуют особенности загрязнения.

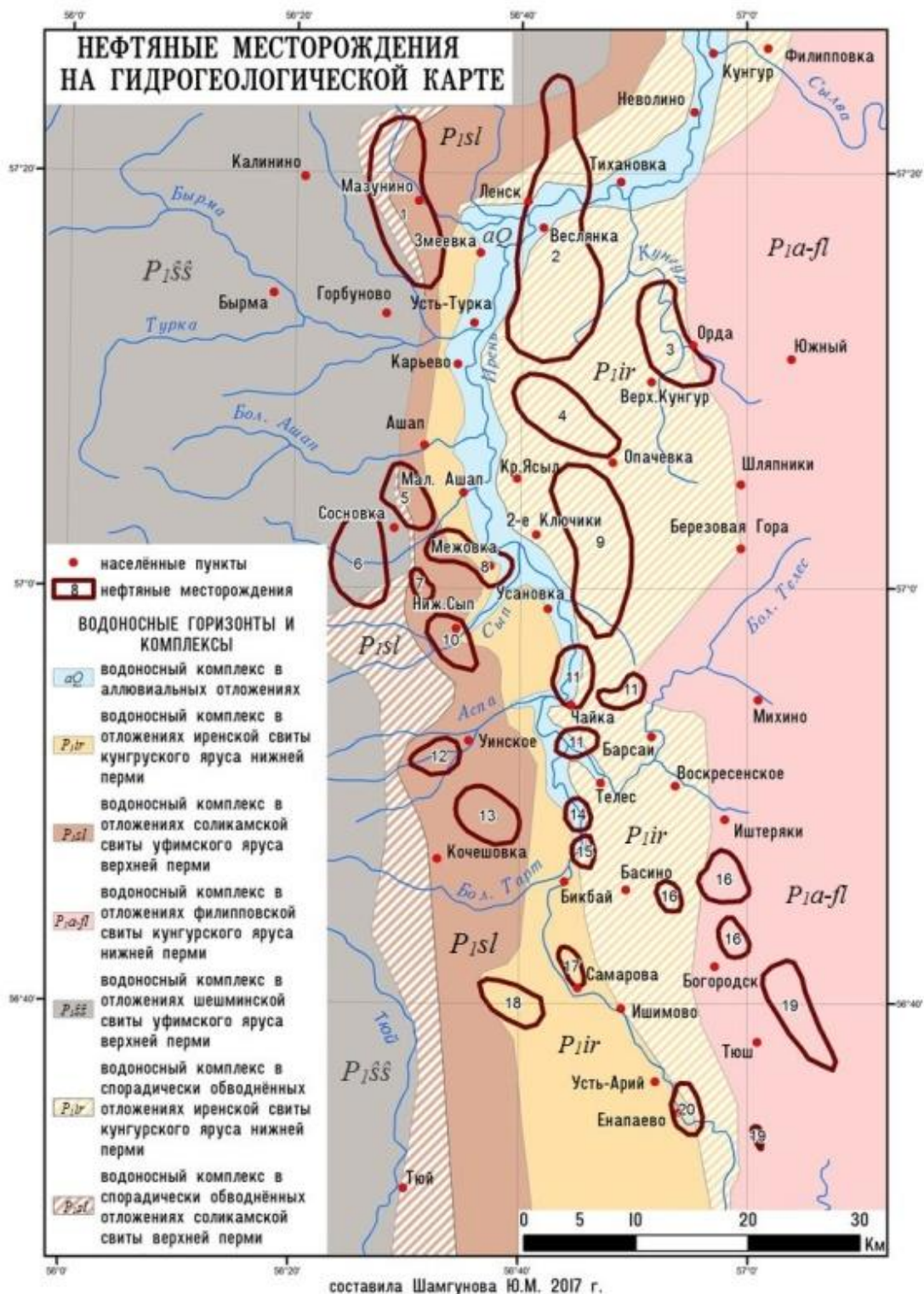


Рис.1. Месторождения нефти на гидрогеологической карте района исследований.
Месторождения: 1-Мазунинское; 2-Кокуйское; 3-Ординское; 4-Губановское; 5-Сосновское; 6-Стретенское; 7-Сыповское; 8-Кулигинское; 9-Чураковское; 10-Чесноковское; 11-Чайкинское; 12-Уинское; 13-Лесное; 14-Северо-Зиковское; 15-Зиковское; 16-Курбатовское; 17-Казаковское; 18-Западно-Казаовская; 19-Дороховское; 20-Енапаевское.

Основной особенностью района является повсеместное развитие сульфатно-карбонатного карста. Поверхность на большей части площади представляет собой слаборасчлененное плато, прорезанное редкой сетью глубоко врезуемых эрозионно-карстовых долин и суходольных логов.

Природа нефтяного загрязнения в районе д.Павлово обусловлена, в основном, поступлением флюидов вверх из продуктивных горизонтов по зонам неотектонической трещиноватости.

В долине реки Каменки и к югу от нее предполагается интенсивная нарушенность осадочного чехла линейными субвертикальными тектоническими трещинно-разрывными структурами, образующими меридиональную полосу шириной от 0.5 до 0.8 км. Вероятно, в палеозойской толще вдоль этой полосы образовались прерывистые малоамплитудные сбросы, которые по латерали и вертикали переходят в узкие зоны усиленной тектонической трещиноватости. В долине р.Каменки эта полоса пересечена плотной системой параллельных линеаментов северо-восточного простирания. К узлам их пересечения с меридиональной системой тяготеют локальные участки разгрузки подземных вод.

Район села Павлово характеризуется приуроченностью к узлу пересечения линеаментов меридионального и северо-восточного простирания. Здесь наблюдается пересечение плотных систем параллельных вероятных трещин осадочного чехла. К этому узлу также приурочена концентрация локальных участков поверхностной разгрузки талых вод [2].

Разработка месторождения началась в 70-х годах XX века.

До 1997 г. никаких нефтепроявлений на территории Кокуйского месторождения не наблюдалось, в том числе и на р. Тураевке. Река Тураевка ранее до разработки месторождения была чистой, о чем свидетельствует популяция бобров и древнее поселение (более 300 лет назад).

Залповый выброс нефти впервые произошел 18 апреля 1997 г. Вода в р. Тураевке покрылась пленкой нефти 20-сантиметровой толщины. В воздухе стоял удушающий специфический запах. В 250 метрах выше деревни Павлово в месте выхода реки Тураевки было обнаружено выделение нефти. В течение 10 дней последствия аварии были ликвидированы [2].

Факт загрязнения подземных и поверхностных вод в бассейне р. Ясылки правого притока р.Ирень был установлен в 1997г. Вначале нефтяное загрязнение обнаружили при карстологических исследованиях в пещере Пономаревская, а затем в ручье в правом притоке р.Ясылки [3, 4] .

Нефтяное загрязнение в бассейне ручья приурочено к выходам трех родников с дебитами 2-3 л/сек из гипсового массива иренского горизонта кунгурского яруса нижней перми (P_1 kg). Родники восходящего типа. Вода родников имеет своеобразный сероводородный запах, в ней наблюдаются многочисленные пленки и сгустки нефти, а также специфический серый цвет (рис.2,3). Легкие фракции нефтепродуктов по ручью уносятся вниз по потоку, единичные боновые загрязнения не препятствуют этому. В результате исследований на наличие нефтепродуктов в водах родников установлено: максимальное количество их выносятся в весенний период, когда дебиты родников увеличиваются, по

всей вероятности в течение зимнего периода идет накопление нефтепродуктов в карстовых пустотах, а потом происходит их вынос.



Рис.2. Родник №3 с нефтяным загрязнением.

Содержание нефтепродуктов в пробах воды родников зафиксировано от 5,53 мг/дм³ до 3200 мг/дм³ (вода со сгустками нефти); в результате многолетнего загрязнения у выходов родников сформировалась мощная линза загрязненных грунтов ориентировочным объемом 280 тыс.м³ на площади 4 га. При опробовании донных отложений в местах выхода родников зафиксированы вязкие парафинистые соединения с содержанием нефтепродуктов до 10653 мг/кг. Формирование нефтяной линзы происходит в обвальном-карстовых отложениях неоген-четвертичного возраста, представленных щебнем гипса с глинисто-суглинистым заполнителем до 60%. По данным бурения скважины (2018г) максимальная мощность линзы достигает 7,0м. Сверху на границе зоны аэрации и зеркала грунтовых вод были вскрыты грунты, пропитанные легкой фракцией нефти (зона пленочного растекания). Ниже уровня воды до глубины 1,5м вскрыты грунты с вязкой плотной фракцией нефти, еще ниже грунты с каплевидными включениями нефти; на подошве линзы вскрываются вязкие парафинистые соединения нефти, формирование последних связано с разгрузкой зоны сифонной циркуляции (рис.3б). Так при обсадке скважины трубами до глубины 7,0м в течение суток в ней наблюдалось появление нефтяных пленок, при последующих наблюдениях (в течение 6 месяцев) зафиксирована сплошная корка из нефтепродуктов толщиной 2,0 см. Данный факт указывает, что формирование нефтяного загрязнения происходит не только от разгрузки родников, но и от подтока загрязненных вод снизу линзы через зону сифонной циркуляции загрязненных карстовых вод. Линза нефтяного загрязнения через эту зону питается снизу, что создает там значительную концентрацию твердых и вязких нефтепродуктов. Кроме этого возможен подток загрязненных вод по зонам разломов с нижележащих горизонтов при нарушенном флюидоупоре нефтяной за-

лежи. Нарушенность флюидоупора подтверждается материалами бурения структурных скважин..

Анализируя полученные данные можно говорить о природной ловушке, где в больших объемах накапливаются, концентрируются нефтепродукты и происходит их фракционное разделение. Обвальное-карстовые отложения на пути движения потока подземных вод с нефтяным загрязнением являются по сути минерально-сорбционным барьером. В воде родника №3 содержание нефтепродуктов достигает 3200 мг/дм^3 (вода со сгустками нефти). В воде ручья после выхода через трубу дамбы содержание нефтепродуктов составляет всего $2,9 \text{ мг/дм}^3$ (рис.3а). Такие природные ловушки позволяют задерживать большое количество нефтепродуктов, концентрируя их, это дает возможность проводить очистку загрязненных вод на данном участке.

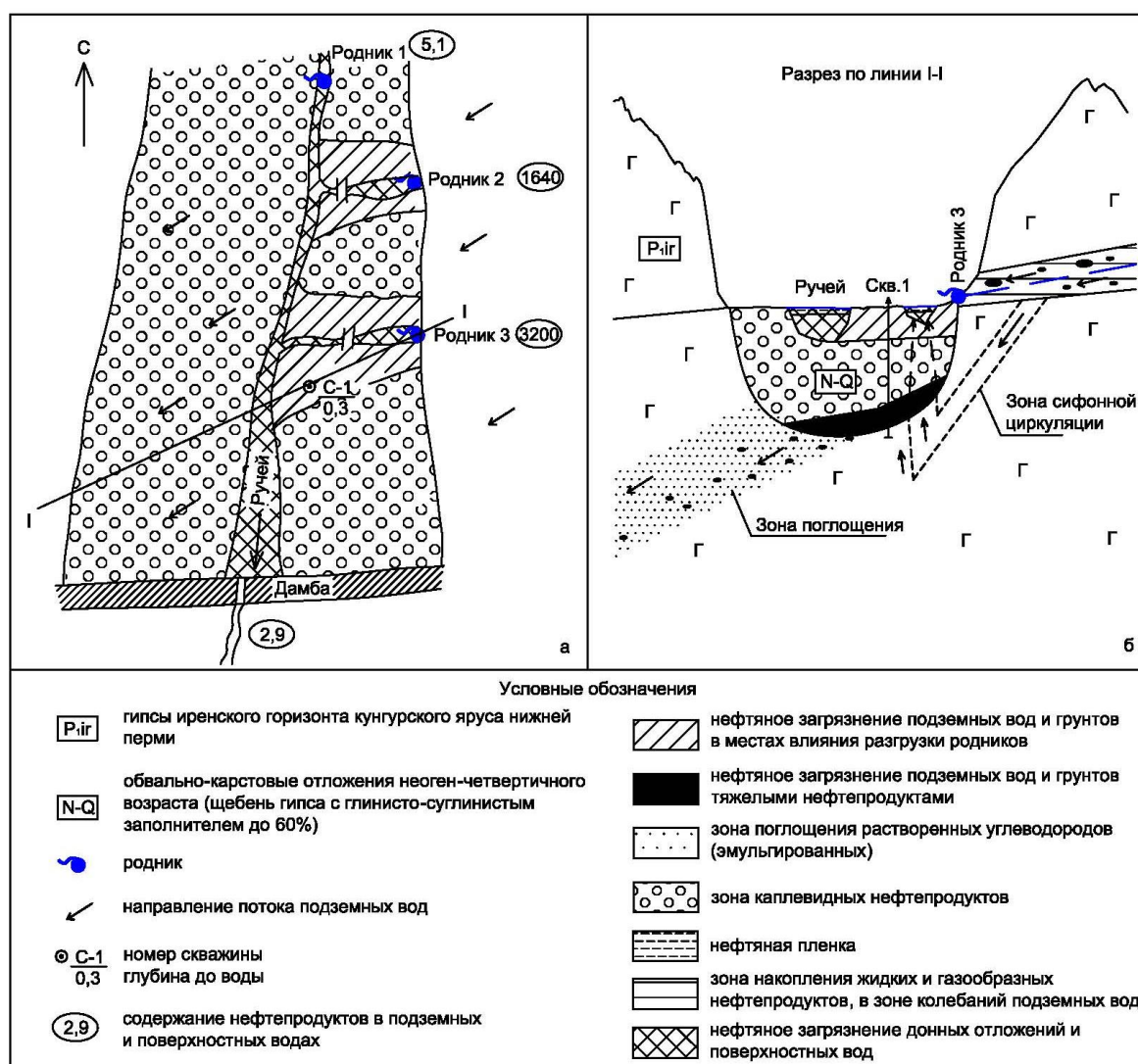


Рис.3. Схема формирования линзы (природной ловушки) нефтяного загрязнения при разгрузке подземных вод в карстовом районе.

Формирующаяся линза загрязнения является главным ядром загрязнения прилегающих карстовых массивов, т.к. часть поверхностного и подземного стока на границе линзы поглощается понорами и закарстованными зонами дроб-

ления. Поверхностный сток ручья полностью поглощается через 1 км в карстовой долине.

Выводы: Для линзы нефтяного загрязнения характерны следующие особенности: увеличение площади загрязнения по направлению потока подземных вод, перемещение в вертикальном направлении за счет колебания УГВ и смешения с газообразными нефтепродуктами. Нарастание линзы происходит снизу через зону сифонной циркуляции и, в случае подтока нефтяных вод, через зоны разломов флюидоупора нефтяного месторождения.

На уровне грунтовых вод выделяется зона пленочного растекания, представленная легкими нефтепродуктами. Такая зона может многократно превышать площадь линзы нефтяного загрязнения, так как загрязненные воды дренируются карстовыми пустотами. Миграция нефтепродуктов зависит от фильтрационных свойств отложений зон аэрации и водонасыщения, в результате большая часть вязких и плотных нефтяных углеводородов будет концентрироваться в слабопроницаемых глинисто-суглинистых грунтах.

Природные ловушки, состоящие из обвального-карстовых отложений, в местах выхода загрязненных нефтью подземных вод позволяют задерживать большое количество нефтепродуктов, концентрируя их, это создает условия для их локализации. Эти отложения на пути движения потока подземных вод с нефтяным загрязнением являются по сути минерально-сорбционным барьером.

Создание поверхностных искусственных нефтеловушек не позволяет полностью избежать распространение нефтяного загрязнения в данном районе. Наличие зон поглощения поверхностного и подземного стока в районах сульфатного карста приводит к транзиту загрязнения далее по потоку подземных вод.

Библиографический список

1. *Велин А.С.* Особенности миграции углеводородов в грунтах зоны аэрации и подземных водах в местах расположения крупных нефтехранилищ. Вестник ВГУ, серия Геология. 2018. №1. С.142-147.
2. *Костарев С.М.* Особенности нефтепромыслового загрязнения геологической среды карстовых районов Пермского края. Экологическая безопасность и строительство в карстовых районах: материалы Международного симпозиума; Перм. гос. нац. исслед. ун-т. – Пермь, 2015. С.317-322.
3. *Килин Ю.А., Минькевич И.И.* Полости Красноясыльского карстового поля. Пещеры: Межвуз. сб. науч. тр/ Перм.ун-т.- Пермь, 1999. С.52-57.
4. *Минькевич И.И., Килин Ю.А.* Экологическая гидрогеология и гидрогеохимия: учеб. пособие / Перм. гос. нац. исслед. ун-т. – Пермь, 2017. – 232 с.
5. *Савилова Е.Б., Гаев А.Я., Гацков В.Г., Килин Ю.А., Якшина Т.И.* К обоснованию гидрогеологического мониторинга на примере Оренбургского нефтегазового комплекса // Вестник Пермского университета. Геология. 2012. № 3 (16). С. 80-86.
6. *Гаев А.Я., Килин Ю.А., Минькевич И.И.* Гидрогеологические особенности развития карстовых процессов в регионах Урала // Вестник Пермского университета. Геология. 2009. № 11. С. 54-65.

**ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДИКИ ПОСЛОЙНОГО
АНАЛИТИКО-ГРАФИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ
ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАСЧЕТНОГО
ДИАМЕТРА КАРСТОВОГО ПРОВАЛА**

В статье приводится сравнение фактически зафиксированных параметров карстовых провалов, произошедших в с. Березники Нижегородской области, и расчетных параметров карстово-суффозионной деформации по методике послойного аналитико-графического моделирования, предложенной А.В. Аникеевым. Апробирование методики произведено с использованием данных бурения карстологической скважины вблизи карстового провала на территории развития сульфатного типа карста. Расчетный диаметр карстово-суффозионной деформации на поверхности земли близок к среднему диаметру зафиксированных провалов.

Ключевые слова: карстовый провал, диаметр провала, карстово-суффозионная деформация.

T.G. Kovaleva, Z.V. Kivileva, A.R. Yurkina
Perm State University, kovalevatg@mail.ru,

**APPLICATION OF THE METHOD OF LAYER-BY-LAYER
ANALYTIC-GRAPHIC MODELING TO DETERMINE THE DESIGNED
DIAMETER OF THE KARST COLLAPSE**

The article provides a comparison of the actually recorded parameters of the karst collapse that occurred in the settlement Berezniki, Nizhny Novgorod region, and the calculated parameters of karst-suffusion deformation using the method of layer-by-layer analytical and graphic modeling proposed by A.V. Anikeev. The methodology was tested using data from drilling a karst well near a karst collapse in the territory of the development of a sulphate type of karst. The calculated diameter of the karst-suffusion deformation on the earth's surface is close to the average diameter of the fixed collapse.

Key words: karst collapse, diameter a collapse, karst-suffusion deformation.

При выполнении инженерных изысканий на закарстованных территориях необходимо выполнять инженерно-геологическое районирование по условиям, степени и характеру развития карста. Для каждого выделенного участка должны быть установлены категории устойчивости территории по интенсивности провалообразования и по средним диаметрам карстовых провалов [2].

Методика оценки территории относительно интенсивности образования карстовых провалов подробно приведена в нормативных документах [5]. При оценке устойчивости территории относительно среднего диаметра карстового провала не регламентируется применение конкретной методики. В нормативной литературе говорится лишь о необходимости использования аналитиче-

ских и (или) вероятностно-статистических методов, при прогнозировании параметров вновь ожидаемых карстопроявлений [4, 5, 6].

На сегодняшний день предложено достаточное количество методик прогнозирования параметров карстовых провалов [В.М. Кутепов (1986); В.В. Толмачева, Г.М. Троицкого, В.П. Хоменко (1986); В.П. Хоменко (2003, 2015); В.В. Толмачева, Ф. Ройтера (1990)].

В данной статье рассматривается апробация методики прогноза параметров карстово-суффозионных деформаций, предложенной А.В. Аникеевым [1], посредством сравнения прогнозного диаметра карстовой формы, с уже существующим провалом вблизи расчетной скважины. Данный метод основывается на анализе инженерно-геологического разреза, при котором для каждого грунтового слоя определяется наиболее вероятный механизм (провальный, карстово-суффозионный) деформирования над полостью. Расчеты производятся снизу-вверх по разрезу от полости, заложенной на стыке перекрывающих грунтов и карстующихся пород. В расчетах морфометрических размеров карстовых деформаций используются физико-механические свойства грунтов перекрывающих отложений.

Результатом расчета являются:

- прогнозные диаметры провала и/или локального оседания на поверхности земли или в основании фундамента;
- прогнозные диаметры полостей (зон истечения песчаных грунтов) на различных глубинных срезах.

Участок исследования расположен вблизи фельдшерского пункта на ул. Въездной, села Березники Гагинского района Нижегородской области (рисунк 1). В пределах участка исследования в период с 23 марта по 6 апреля 2020 года было зафиксировано образование двух карстовых провалов. Карстовый провал №1 образовался 23 марта 2020 года с диаметрами 22,0 м x 19,5 м и глубиной до воды 10 м. Карстовый провал №2 образовался 6 апреля 2020 года с диаметром 12,0 м и глубиной 5 м.

Вблизи карстового провала №1 выполнено бурение карстологической скважины глубиной 80,0 м. В геологическом строении принимают участие четвертичные аллювиальные суглинки, глины и пески (аQ), пермские глины (P_{2ur}), доломиты (P_{2kz}) и гипсы (P₁).

Доломиты малой прочности, сильновыветрелые до состояния дресвы и щебня с суглинистым заполнителем вскрываются на глубине 23,6 м, мощностью 17,9 м. Гипсы малопрочные, трещиноватые вскрываются на глубине 41,5 м. Ввиду разрушенного состояния карбонатной толщи, образование карстовой полости вследствие процесса растворения исключается. Данный грунтовый слой в расчетах параметров карстово-суффозионной деформации отнесен к перекрывающей толще и классифицирован как суглинок. Физико-механические свойства грунтовых слоев, используемых в расчетах приведены в таблице 1.

Помимо физико-механических характеристик перекрывающих отложений для расчета прогнозируемых параметров карстово-суффозионных деформаций необходимы входные данные: начальный диаметр и высота закладываемой по-

лости, скорость растворения карстующихся пород, мощность зоны активного карстования, глубина установления трещинно-карстовых вод и др. (таблица 2).

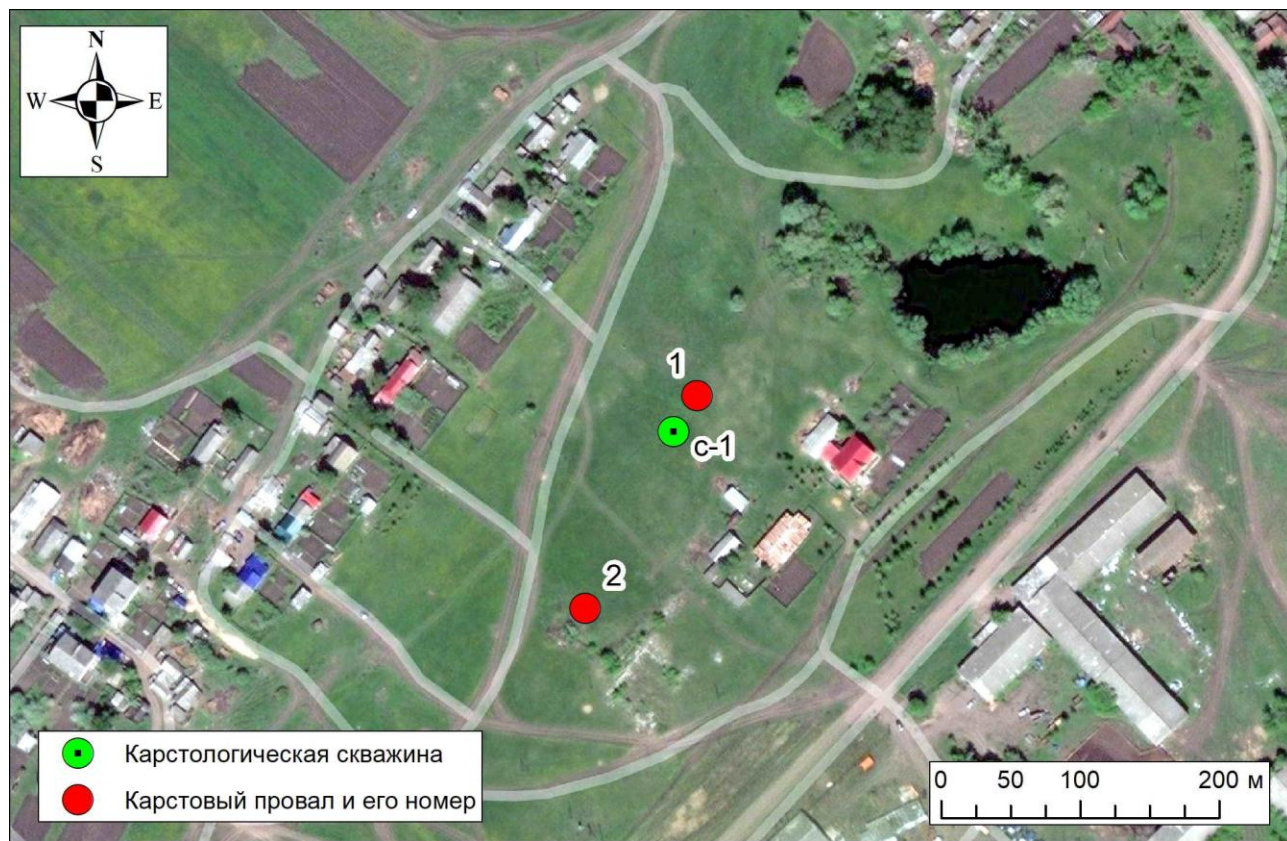


Рисунок 1 – Карстопроявления вблизи фельдшерского пункта

Таблица 1 – Физико-механические свойства грунтовых слоев

№ ИГЭ (слоя)	Наименование грунта	Мощность	Плотность грунта	Коэффициент пористости	Число пластичности	Показатель текучести	Коэффициент водонасыщения	Модуль деформации	Коэффициент Пуассона	Угол внутреннего трения	Удельное сцепление
		m	ρ	e	I_p	I_L	S_r	E	ν	φ	c
		м	г/см ³	д.е.	%	д.е.	д.е.	МПа	д.е.	°	кПа
1	Суглинок	2,3	1,87	0,855	15,7	0,280	0,875	12,9	0,36	19,3	16,7
2	Глина	4,3	1,97	0,745	17,9	0,190	0,949	25,8	0,34	16,0	42,1
3	Глина	1,6	2,07	0,696	17,4	0,356	1,122	19,8	0,41	16,2	36,0
4	Песок	6,4	1,93	0,782			0,832	17,4	0,32	29,0	0,8
5	Глина	9,0	2,03	0,745	19,8	0,232	1,077	19,8	0,34	17,4	47,9
6	Суглинок	17,9	2,10	0,507	7,8	0,474	0,916	22,6	0,36	26,0	51,6

Назначение начального диаметра и высоты закладываемой полости принято по результатам архивного бурения на территории Нижегородской области. По архивным данным средняя высота карстовых полостей, вскрытых в толще сульфатных пород составляет 2,0 м. Начальный диаметр определен по зависимости (1), при известной высоте полости (h) [11]:

$$d_0 = \frac{h}{0,3107} \quad (1)$$

Скорость растворения принята максимально возможной для среднерастворимых (сульфатных) пород согласно таблице 6.15а СП 22.13330.2016.

Таблица 2 – Входные данные

Карстующийся грунт	гипс
Начальный диаметр полости, м	6,0
Скорость растворения породы, м/год	0,100
Конечный диаметр полости за срок службы объекта, м	16
Высота полости, м	2,0
Мощность зоны активного карстования, м	38,5
Коэффициент открытой трещиной пустотности, д.е.	0,05
Глубина установления трещинно-карстовых вод, м	10,0
Аккумулятивная емкость карстовой полости, м ³	401,9
Аккумулятивная емкость трещиной пустотности, м ³	163255,3
Аккумулятивная емкость карстующейся толщи, м ³	163657,2

Мощность зоны активного карстования соответствует интервалу, пройденному по трещиноватым гипсам, обладающим объемной аккумулятивной емкостью. Вычисление аккумулятивной емкости осуществляется с учетом величины полости, мощности зоны активного карстования, скорости растворения карстующихся пород за расчетный период и трещиноватости массива.

Результатом вычислений являются:

- рекомендуемый тип карстово-суффозионной деформации – провал;
- рекомендуемый расчетный диаметр – 16,0 м.

Средний диаметр зафиксированных карстовых провалов на участке исследования составляет 17,0 м.

Актуальность применения данной методики также подтверждено на территориях с другим геологическим строением [2].

Как видно, расчетный диаметр близок к фактически зафиксированному среднему диаметру карстовых провалов на участке исследования. Таким образом, при оценке территории по степени карстовой опасности относительно средних диаметров карстовых провалов в отсутствии систематического мониторинга за образованием карстовых форм для прогноза размеров возможных деформаций целесообразно использовать методику послойного аналитико-графического моделирования А.В. Аникеева.

Библиографический список

1. Аникеев А.В. Провалы и воронки оседания в карстовых районах: механизмы образования, прогноз и оценка риска // Москва: РУДН, 2017.
2. Бажутин П.И. Прогноз и оценка карстово-суффозионных деформаций. Геология в развивающемся мире. 2020. С. 554-557.
3. Кутепов В.М. Оценка устойчивости закарстованных территорий методом анализа напряженного состояния массивов пород. Обзор и рекомендации. М.: ЦП НТГО, 1986. 69 с.

4. *Руководство по инженерно-геологическим изысканиям в районах развития карста.* М. ПНИИС. 1995.
5. *СП 11-105-97 Инженерно-геологические изыскания для строительства. Ч. II. Правила производства работ в районах развития опасных геологических и инженерно-геологических процессов.* М.: ПНИИС. 2001.
6. *СП 22.13330.2016 Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83*М.: НИИОСП им.Н.М.Герсеванова. 2017.*
7. *Толмачев В.В., Троицкий Г.М., Хоменко В.П.* Инженерно-строительное освоение закарстованных территорий. М.: Стройиздат, 1986. 176 с.
8. *Толмачев В.В., Ройтер Ф.* Инженерное карстоведение. М.: Недра, 1990. 151 с.
9. *Хоменко В.П.* Закономерности и прогноз суффозионных процессов. М.: ГЕОС, 2003. 216 с.
10. *Хоменко В.П.* Карстовое провалообразование: механизм и оценка опасности // Экологическая безопасность и строительство в карстовых районах: материалы Международного симпозиума / Под ред. В.Н. Катаева, Д.Р. Золотарева, С.В. Щербакова, А.В. Шиловой; Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2015. С. 50-60.
11. *Щербаков С.В., Катаев В.Н.* К оценке морфометрических параметров карстовых форм // Инженерная геология. № 1. Москва: ПНИИС, 2013. С. 56-64.
12. *Ковалёва Т.Г.* Оценка карстоопасности территории г. Кунгура на основе общегеологического подхода // Вестник Пермского университета. Геология. 2016. № 4 (33). С. 18-25.
13. *Дробинина Е.В., Ковалева Т.Г., Корякина А.В., Катаев В.Н.* Анализ локальной изменчивости физико-механических свойств покровной толщи как метод оценки карстоопасности (на примере с. Усть-Кишерть) // Вестник Пермского университета. Геология. 2017. Т. 16. № 3. С. 242-255.

ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЗАКАРСТОВАННОСТИ ГИПСОВОЙ ТОЛЩИ ЛУНЕЖСКОЙ ПАЧКИ СОКОЛИНО-САРКАЕВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПО ДАННЫМ БУРЕНИЯ ВЗРЫВНЫХ СКВАЖИН

В статье представлена методика оценки закарстованности гипсовой толщи Соколино-Саркаевского месторождения. Суть методики заключается в расчете различных показателей в пределах взрывных блоков, в основе которого выступают геологические данные, полученные при бурении взрывных скважин. Приведен существенный недостаток представленной предварительной оценки поверхностной закарстованности. Показано, что закарстованность гипсовой толщи имеет вертикальную зональность, с увеличением глубины закарстованность гипсовой залежи снижается.

Ключевые слова: геологические данные, методика, оценка, гипсовая толща, закарстованность.

K.O. Khudenkikh, V.A. Kuznetsova

LLC Ergach, Perm territory, Ergach, ms002@ergach0.ru

PRELIMINARY ASSESSMENT OF CAVERNOUS POROSITY OF GYPSUM FIELD OF LUNEZHSKAYA PACKAGE ON SOKOLINO-SARKAEVSK DEPOSIT BY DRILLING DATA OF BLAST HOLES

In article the method of assessment of gypsum field cavernous porosity of Sokolino-Sarkaevsk deposit is presented. Main point of method consists in the calculation of different characteristics in limits of blast blocks at the heart of which geological data taken at drilling of blast boreholes are came out. It is adduced a considerable imperfection of preliminary assessment of surface cavernous porosity. It is showed the cavernous porosity has a vertical zoning namely cavernous porosity decreases when the deep increases.

Keywords: geological data, method, assessment, gypsum field, cavernous porosity.

Соколино-Саркаевское месторождение гипса и ангидрита расположено в Кунгурском районе Пермского края, разрабатывается с 1928 г. открытым способом. Месторождение разделено на три участка: Саркаевский, Казаевский и Гора Соколиная. В настоящее время разрабатываются участки Саркаевский и Казаевский.

Полезная толща месторождения представлена гипсами и ангидритами лунежской пачки иренского горизонта кунгурского яруса нижней перми мощностью 40-45 м, которая перекрыта соликамскими терригенными породами (15-20 м) и элювиальными глинами четвертичного возраста (5-7 м). Снизу полезную толщу подстилают карбонатные породы туйской пачки кунгурского яруса (рис. 1).

Полезная толща отрабатывается тремя добычными уступами: горизонт +150 м отрабатывает гипсовую залежь двумя подуступами, горизонт +137 м – гипсо-ангидритовую (нижнюю часть гипсовой толщи и верхнюю часть ангидритовой), горизонт +125 м – ангидритовую. Оработка добычных горизонтов производится с помощью буровзрывных работ.

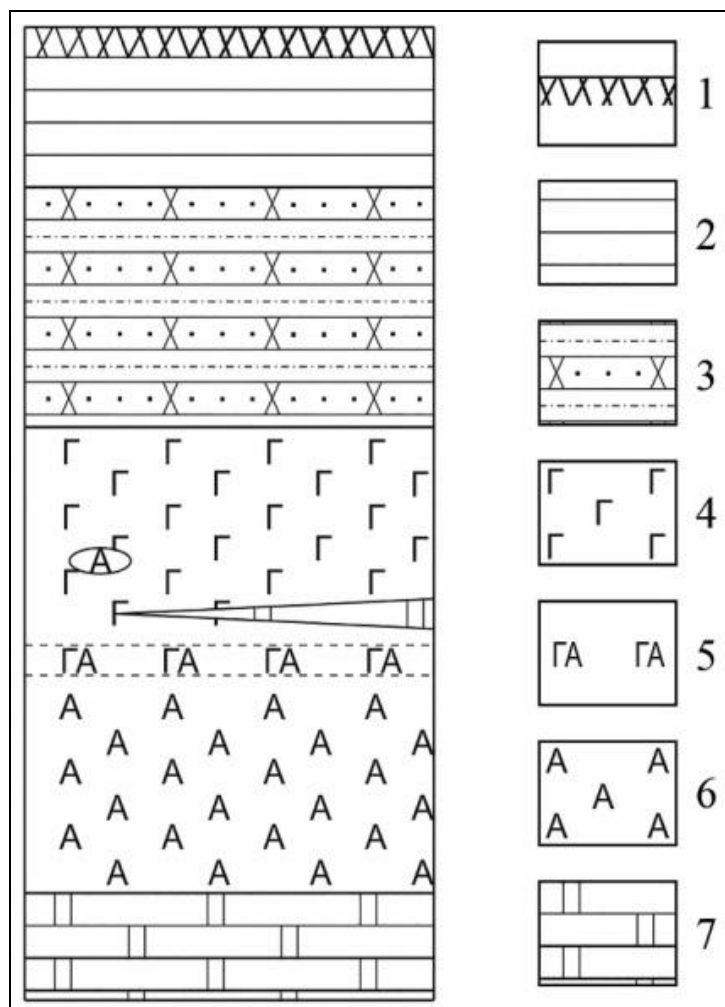


Рис. 1. Схематический разрез Соколино-Саркаевского месторождения (вне масштаба): 1 – почвенно-растительный слой; 2 – глина; 3 – терригенные породы; 4 – гипс; 5 – гипсоангидрит и ангидритогипс; 6 – ангидрит; 7 – доломит

Начиная с 2018 г., при отработке гипсовой толщи горизонтами +150 м и +137 м ведется геологическое описание буровзрывных скважин, при котором фиксируются следующие особенности геологического строения взрывных блоков: глубина залегания кровли гипса, наличие поверхностных и подземных карстопроявлений, наличие прослоев некондиционных пород (доломит, мергель), глубина залегания кровли ангидрита (для горизонта +137 м). Буровзрывные скважины бурятся по сетке в среднем $3,5 \times 3,5$ м, что обусловлено намерением избежать излишнего размельчения породы, а также чрезмерного выхода негабаритных кусков полезного ископаемого.

Исходя из особенностей отработки гипсовой залежи, ее можно разделить на три части по вертикали: верхнюю (от кровли гипса до отметки +157 м), сред-

ною (интервал отметок от +157 м до +150 м) и нижнюю (от отметки +150 м до кровли ангидрита). Верхняя и средняя части отрабатываются двумя подступами горизонта +150 м, нижняя – горизонтом +137 м.

Оценка закарстованности производилась для каждой части гипсовой залежи, а также по всей ее мощности в целом. За три года (2018-2020) суммарная площадь взрывных блоков составила 106969 м², в пределах этой площади была пройдена 8271 буровзрывная скважина. Авторы считают, что при таких плотности и количестве буровзрывных скважин с геологическим описанием был получен исчерпывающий массив геологических данных, позволяющий оценить закарстованность гипсовой толщи лунежской пачки Соколино-Саркаевского месторождения максимально реалистично.

Суть методики оценки закарстованности состоит в следующем. Изначально все взрывные блоки распределялись соответственно их положению в вертикальном разрезе гипсовой залежи: верхние, средние и нижние. Для скважин каждого взрывного блока составлялась таблица, в которую заносились полученные геологические данные о вскрытой мощности гипса, вертикальных размерах полостей и глубина вскрытия кровли гипса. На основе из этих данных в этой же таблице определялись объем полости и высотная отметка кровли гипса (табл. 1).

Объем полости определялся как произведение ее вертикального размера и ячейки сетки пробуренных скважин ($1,0 \times 3,7 \times 3,7 = 13,7$, табл. 1, скв. №1, на взрывном блоке, представленном в качестве примера в таблице 1, взрывные скважины бурились по сетке $3,7 \times 3,7$ м). Высотная отметка кровли гипса вычислялась как разность между высотной отметкой устья скважины и глубиной вскрытия кровли гипса.

Таблица 1. Фрагмент таблицы геологических данных для взрывного блока

Взрывной блок №02 / 2020						
№ скв.	Мощность гипса, м	Вертикальный размер полости, м	Объем полости, м ³	Высотная отметка устья скважины, м	Глубина вскрытия кровли гипса, м	Высотная отметка кровли гипса, м
1	11,3	1,0	13,7	167,5		167,5
3	8,0			167,7	3,5	164,2
4	11,4			167,6		167,6
7	10,9	2,0	27,4	167,1		167,1
8	10,9			167,1		167,1
9	10,0			166,2		166,2
10	9,6	2,5	34,2	165,8		165,8
13	8,0			165,2	1,0	164,2
14	5,7	1,5	20,5	165,1	3,2	161,9
16				164,1	7,9	156,2
17	4,7			163,9	3,0	160,9

На следующем этапе для каждого взрывного блока определялись параметры, приведенные в таблице 2.

Таблица 2. Параметры, определяемые для взрывного блока

Определяемый параметр	Значение параметра
Объем взрывного блока $V_{бл}, \text{м}^3$	13246
Объем гипса в блоке $V_{г}, \text{м}^3$	12235
Объем вскрыши в блоке $V_{вскр}, \text{м}^3$	1011
Процент гипса в блоке	92,4
Процент вскрыши в блоке (поверхностная закарстованность)	7,6
Сумма мощностей гипса $\Sigma_{мг}, \text{м}$	1014,0
Сумма вертикальных размеров полостей $\Sigma_{впн}, \text{м}$	309,0
Линейный процент закарстованности K_l	30,5
Объем гипса в блоке с учетом линейного процента закарстованности $V_{г \text{ лин зак}}, \text{м}^3$	8507
Сумма объемов полостей $\Sigma_{впн}, \text{м}^3$	4115,9
Объемный процент закарстованности K_v	33,6
Объем гипса в блоке с учетом объемного процента закарстованности $V_{г \text{ об зак}}, \text{м}^3$	8119

Объем взрывного блока, а также объемы гипса и вскрыши в нем определялись с помощью компьютерной программы «CREDO Объемы» по методике, подробно изложенной в работах [1, 2]. Остальные параметры определялись по следующим формулам:

- линейный процент закарстованности:

$$K_l = \frac{\Sigma_{впн}}{\Sigma_{мг}} 100\% \quad (1)$$

- объем гипса в блоке с учетом линейного процента закарстованности:

$$V_{г \text{ лин зак}} = V_{г} - \frac{V_{г}}{100} \cdot K_l \quad (2)$$

- объемный процент закарстованности:

$$K_v = \frac{\Sigma V_{п}}{V_{г}} 100\% \quad (3)$$

- объем гипса в блоке с учетом объемного процента закарстованности:

$$V_{г \text{ об зак}} = V_{г} - \Sigma V_{п} \quad (4)$$

На заключительном этапе были рассчитаны проценты внутренней и поверхностной закарстованности для каждой из частей гипсовой толщи, представленные на рисунках 2 и 3 соответственно.

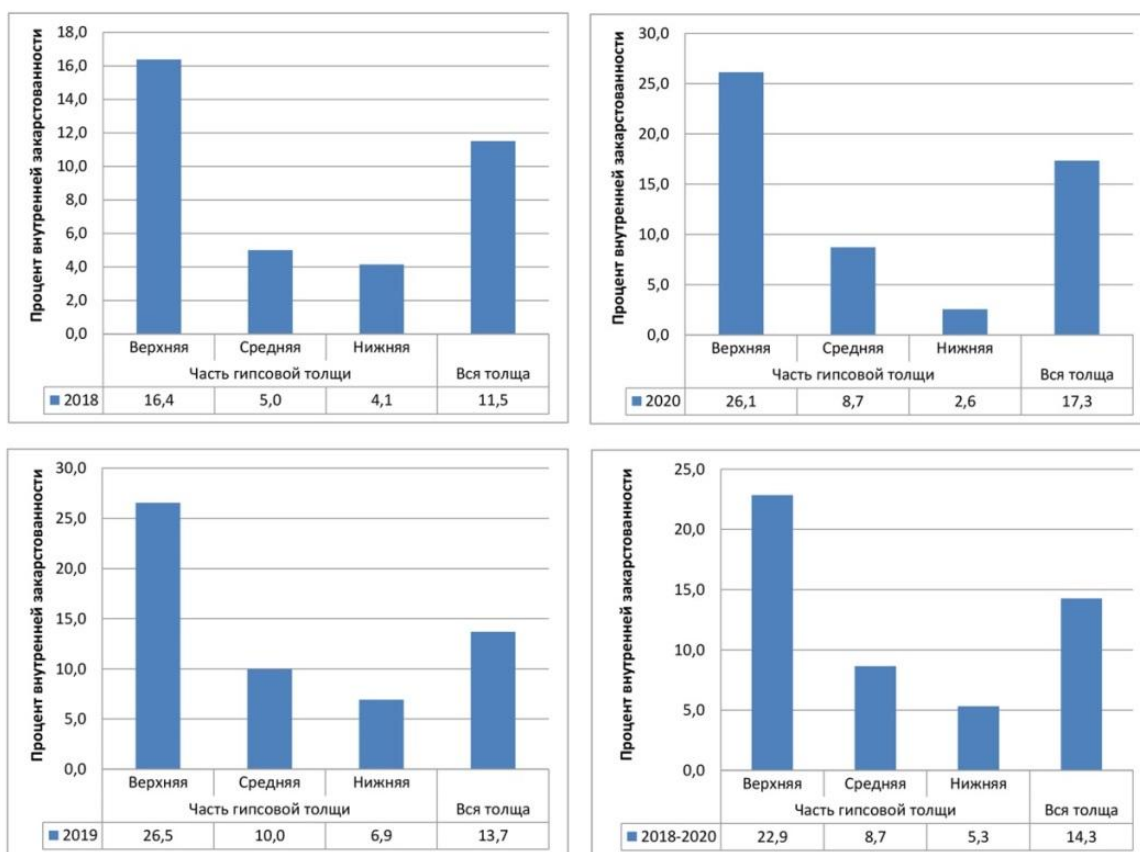


Рис. 2. Результаты вычисления процента внутренней закарстованности гипсовой толщи Соколино-Саркаевского месторождения

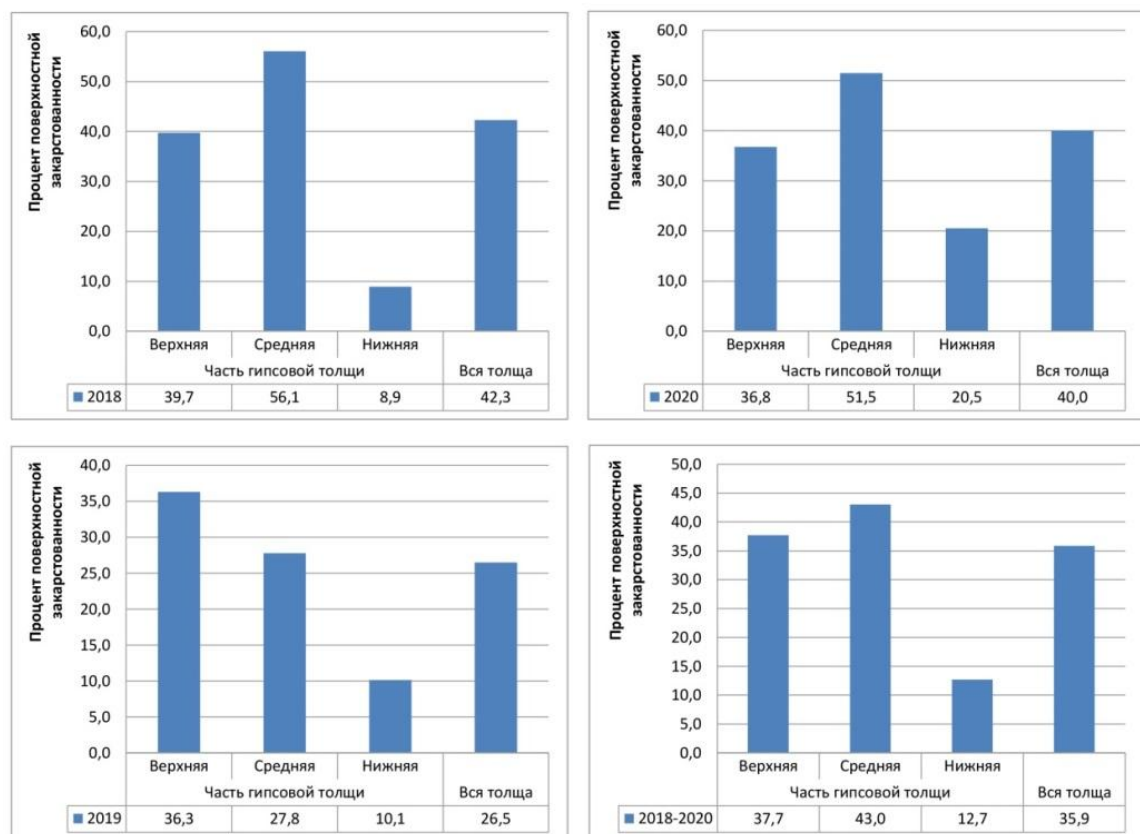


Рис. 3. Результаты вычисления процента поверхностной закарстованности гипсовой толщи Соколино-Саркаевского месторождения

Анализируя рисунок 2, следует отметить, что в большей степени карстованию подверглась верхняя часть гипсовой толщи. Значения процента ее закарстованности превышают более чем в два раза значения, рассчитанные для средней части гипсовой залежи, и в четыре с лишним раза значения, вычисленные для нижней части, т.е. с глубиной закарстованность значительно снижается.

На рисунке 3 ситуация выглядит несколько иначе. В 2018 и в 2020 годах наиболее закарстованной оказалась средняя часть гипсовой толщи, что отразилось и на всем периоде оценки в целом (2018-2020 гг.). Сложившаяся ситуация связана с наличием в контуре отрабатывавшихся в указанный период участков горизонта +150 м погребенной карстовой воронки значительных размеров (диаметр более 100 м). В 2018 и в 2020 годах отрабатывалась в основном верхняя часть гипсовой залежи, гипс средней части отрабатывался в меньшей степени, в то время как, погребенная карстовая воронка отрабатывалась равномерно в обеих частях. В 2019 г. отработка гипса и воронки шла равномерно, поэтому ситуация выглядит аналогично внутренней закарстованности: с глубиной поверхностная закарстованность уменьшается.

Анализируя поверхностную закарстованность, авторами был выявлен значительный недостаток в методике ее оценки. На рисунке 4 представлен схематический разрез гипсовой толщи с нанесенными на него контурами отработанных участков в верхней, средней и нижней ее частях.

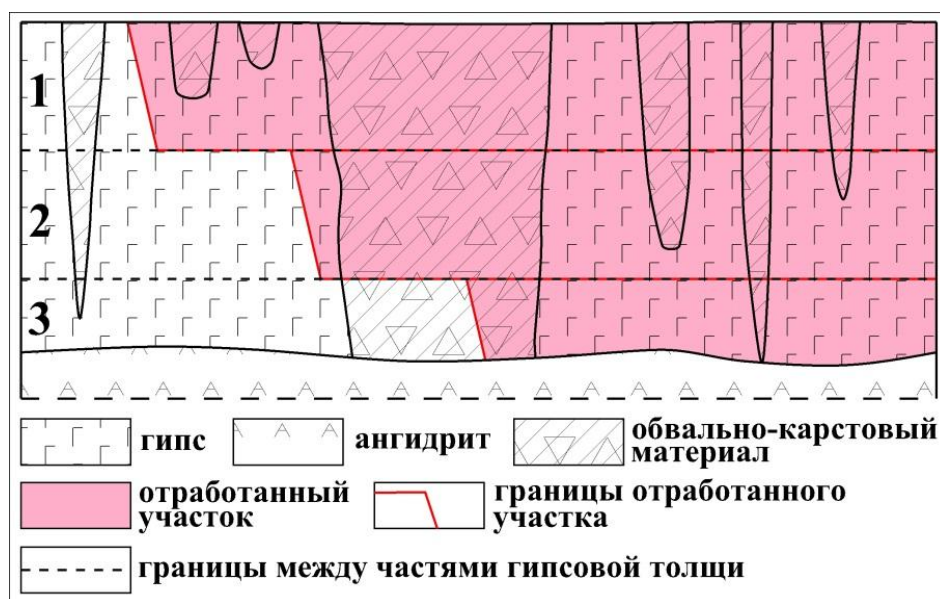


Рис. 4. Схематический разрез гипсовой толщи с участками отработки Части гипсовой толщи: 1 – верхняя; 2 – средняя; 3 – нижняя

Как видно из рисунка 4, верхний слой отработан по гипсу и по большой погребенной воронке, средний отработан полностью по воронке, но слева от нее отработана лишь незначительная часть гипса, нижний слой отработан только в правой части воронки и гипса. Следовательно, отсюда могут быть значительные расхождения и «скачки» в значениях процентов поверхностной закарстованности. Исходя из этого, для того чтобы оценка закарстованности гипсовой толщи в вертикальной послойности была качественной, необходимо проводить

ее в одинаковых условиях, а точнее в единых вертикальных и площадных границах. На рисунке 4 это участок гипсовой залежи, расположенный справа от большой погребенной воронки. Если такое условие соблюдения затруднительно, то тогда нужно выбирать участки, применяя метод аналогии: морфологические и морфометрические параметры карстопроявлений в пределах сравниваемых участков не должны сильно отличаться друг от друга.

Резюмируя все вышеизложенное, констатируем следующее. Исходной геологической информации, получаемой в ходе бурения взрывных скважин, достаточно для карстологической характеристики не только взрывных блоков в отдельности, но и для какой-либо части гипсовой толщи в пределах добычной единицы: уступа, блока подсчета запасов, карьера и др.

Методика оценки закарстованности основана на простейших решениях и не требует сложных математических расчетов.

По результатам оценки закарстованности гипсовой толщи лунежской пачки Соколино-Саркаевского месторождения выяснено, что наиболее закарстована ее верхняя часть. Выявлена вертикальная зональность: с увеличением глубины закарстованность гипсовой залежи уменьшается.

Несмотря на то, что при оценке закарстованности гипсовой залежи Соколино-Саркаевского месторождения использованы значительные суммарная площадь взрывных блоков и количество скважин, она носит предварительный и не совсем точный характер, ввиду того, что взрывные блоки в пределах каждой части гипсовой толщи находятся в разных частях уступов +150 м и +137 м, а не друг под другом, образуя при этом единый геологический массив. Это является недостатком, который впоследствии можно будет устранить, оценивая участки горизонтов +150 м и +137 м со сходными морфологическими и морфометрическими параметрами карстопроявлений.

Метод оценки является универсальным и может быть применен на всех месторождениях, где полезное ископаемое представлено карстующимися породами, залегающих первыми от поверхности в условиях открытого рудника, и где геологические особенности, связанные с проявлениями карста, сходны с геологическими особенностями гипсовой залежи лунежской пачки Соколино-Саркаевского месторождения.

Библиографический список

1. Худеньких К.О. Метод построения гипсометрических планов кровли гипса в пределах взрывных блоков // Вестник пермского университета. Геология. Пермь, 2020. Том 19. №1. С. 73-80. DOI: 10.17072/psu.geol.19.1.73.
2. Худеньких К.О. Методические основы проведения сопровождающей эксплуатационной разведки на месторождениях гипса (на примере Соколино-Саркаевского месторождения) // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2021. №1. С. 90-101. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-1-0-90-101.

КРАТКИЙ ОБЗОР НАПРАВЛЕНИЙ РЕАБИЛИТАЦИИ ТЕРРИТОРИИ, ЗАГРЯЗНЕННОЙ СОЕДИНЕНИЯМИ АЗОТА

Азотное загрязнение подземных вод широко распространено во всем мире и имеет последствия воздействия на человеческий организм, выражающиеся метгемоглобинемией, отравлениями, нитрозаминовыми опухолями, мутагенными и трансплацентарными эффектами, развивающимися в результате попадания в организм человека соединений азота: нитратов, нитритов, аммония. В статье рассмотрены основные направления реабилитации территории, загрязненной соединениями азота.

Ключевые слова: азотное загрязнение, подземные воды, санация, геоэкология

O.V. Kleckina, P.A. Krasilnikov
Perm State University, geolnauka@gmail.com

REMEDIATION OVERVIEW OF OPTIONS FOR AREAS CONTAMINATED WITH NITROGEN COMPOUNDS

Nitrogen pollution of groundwater is widespread throughout the world and has consequences for the human body in the form of methemoglobinemia, poisoning, nitrosamine tumours, mutagenic and transplacental effects resulting from nitrogen compounds: nitrate, nitrite, ammonium. In the article the basic directions of rehabilitation of the territory polluted with nitrogen compounds are considered.

Key words: nitrogen pollution, groundwater, remediation, geoecology

Translated with www.DeepL.com/Translator (free version)

В последние десятилетия резко возросло техногенное воздействие на окружающую среду в целом, и в особенности на подземные воды, как в пределах градопромышленных агломераций, так и в горно-промышленных районах.

По данным федерального статистического наблюдения на специально оборудованных сооружениях – объектах размещения отходов – размещено 3204,5 млн тонн отходов. Несмотря на то, что объекты размещения отходов представляют собой природоохранные сооружения, специально оборудованные для предотвращения попадания компонентов отходов в окружающую среду, но негативное воздействие на окружающую среду все равно оказывается.

Одним из экологических аспектов приповерхностного размещения отходов является поступление загрязняющих веществ из отходов в подземные воды. Химическое загрязнение подземных вод и других компонентов окружающей среды зачастую приводит к необратимым последствиям, когда окружающая среда теряет способность к самоорганизации и самоочищению [1].

К примеру, азотное загрязнение подземных вод широко распространено во всем мире и имеет последствия воздействия на человеческий организм, выра-

жающиеся метгемоглобинемией, отравлениями, нитрозаминовыми опухолями, мутагенными и трансплацентарными эффектами, развивающимися в результате попадания в организм человека соединений азота: нитратов, нитритов, аммония.

В целях сохранения благоприятной окружающей среды необходимо проводить комплекс мероприятий направленный на санацию территории и снижения негативного воздействия на человека.

Разработка мероприятий по охране окружающей среды опирается на результаты оценки состояния загрязнения и прогноза его динамика под воздействие природно-техногенных факторов.

Целью данной работы является изучение методов и направлений реабилитации территории, которые будут наиболее эффективны при азотном загрязнении.

Значимость оценки и прогноза загрязнения компонентов природной среды как ключевых элементов мониторинга определяется положениями Федерального законодательства, закрепленными ст. 3, ст. 70 Федерального закона от 10.01.2002 № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды», ст. 11, ст. 12 Федерального закона от 24.06.1998 № 89-ФЗ «Об отходах производства и потребления».

Между тем, методические подходы к выполнению оценки и прогноза загрязнения в целях выполнения мониторинговых или реабилитационных мероприятий вблизи объектов размещения отходов предприятий различных секторов экономики, в том числе химических производств недостаточно проработаны.

Значительное число научных работ направлено на исследование особенностей загрязнения подземных вод как наиболее актуальной темы в гидрогеоэкологической проблематике.

Исследованию процессов миграции веществ в подземных водах, закономерностей и особенностей преобразования состава подземных вод под воздействием техногенеза посвящены труды таких авторов как Ф.И. Тютюнова, В.С. Самарина, Н.И. Плотников, С. Краевский, Е.К. Питьева, Ю.О. Зеергофер, В.П. Зверев, В.И. Осипов, и мн. др. Вопросы техногенной метаморфизации химического состава природных вод как одного из наиболее значимых последствий загрязнения подземных вод исследуются в работах В.С. Самариной, А.Я. Гаева, Ю.М. Нестеренко и др.

Традиционно для реабилитации территорий (ликвидации загрязнений почвы, грунтов, поверхностных и подземных вод) применяются два принципиально различных подхода. Первый из них – очистка, предусматривает непосредственное удаление вредных компонентов из компонентов природной среды тем или иным способом. Второй подход основан не на удалении, а на подавлении активности вредного компонента – детоксикации. Например, путем его нейтрализации, разложения (деструкции), связывания или локализации.

На взгляд авторов, перспективной является методология очистки территорий от загрязнений, основанная на активизации природных механизмов самоочистки экосистем. В основе этих методов лежат процессы абиотического или био-

тического превращения химических веществ. Эти процессы можно подразделить на следующие виды:

а) физические процессы массопереноса: разбавление (перемешивание), вынос загрязнителей за пределы экосистемы, испарение, сорбция, бионакопление;

б) микробиологическая трансформация- трансформация химических элементов под влиянием микроорганизмов;

в) химическая трансформация: гидролиз, фотолиз, окисление и др.

К абиотическим превращениям относятся окислительные и восстановительные процессы, гидролиз, фотохимические реакции, реакции между самими посторонними веществами и т. п. К биотическим превращениям относятся: ферментативная детоксикация (например, тяжелых металлов), ферментативное окисление, разложение, восстановление и т. п. [1].

Выделяют 4 типа методов, систематизируемых по природе основного оказываемого на воздействия: физические, физико-химические, химические и биологические. При выборе методов и их интегрирования в комплекс мероприятий необходимо оценивать основные недостатки и достоинства каждого типа методов.

При выборе метода следует учитывать следующие критерии, предъявляемые к способам реабилитации территорий:

- возможность применения метода *in situ*, в том числе на значительной глубине;
- селективность метода по отношению к определенным экотоксикантам;
- экологическая безопасность применяемого метода и отсутствие побочных негативных экологических явлений в экосистемах (биогеоценозах);
- относительно высокая степень и скорость очистки;
- экономическая эффективность метода.

На наш взгляд, значительное преимущество имеют биологические методы, так как они считаются экологически безопасными для территории. Биологические методы предусматривают биоаккумуляцию экотоксикантов с помощью растений и биodeградацию загрязнений.

На многих предприятиях предпринимаются попытки применить для реабилитации территории биологические методы. К примеру, в 2009 году на территории азотного загрязненной проведены исследования по проблемам очистки вод пойменных озер в районе хвостохранилища мела. С 2009 г. начали проводить работы по реабилитации территории посредством очистки загрязненных озерных вод [4,5].

Используемый метод заключается в использовании загрязненной воды для внекорневой подкормки луговых трав и дальнейшему удалению фитомассы с территории.

Общий объем изъятой воды, составил 14 000 м³. Масса азота, извлеченная таким образом, оценивается примерно в 120 т. Таким образом, метод использо-

вания загрязненных вод для подкормки луговых трав позволяет извлекать примерно 120 т азотных соединений в год в пересчёте на общий азот [3, 4].

За время полива луговых фитоцинозов загрязнёнными водами в растениях накапливается большое количество нитратов, что ограничивает способы использования фитомассы. Для этого используют метод компостирования скошенной фитомассы. Этот приём требует дополнительного увлажнения созревающей массы компоста, для чего используют загрязненные воды.

В рамках опыта, компостирование проводили в буртах, послойным образом. На слой опила мощностью 50 см раскладывали слой травы (20–30 см), затем последовательно опил и растительный материал. Ширина бурта составила 5 м, длина 20 м, высота 2–2,5 м. Срок компостирования – 18 месяцев. Поскольку опил и трава бедны микрофлорой, то для активизации процесса вносили концентрат микробиологического препарата Байкал. Сверху борт засыпался землей слоем в 5 см. В результате исследований установлено, что при использовании препарата Байкал вместе с загрязненными соединениями азота водой достигается наилучший эффект [1].

Несмотря на относительно высокий показатель извлечения азота из озера, метод утилизации скошенных трав компостированием может в перспективе сформировать ряд проблем. Так, согласно данным [2] урожайность пойменных лугов лесной зоны Европейской части России составляет в среднем 14,5 ц/га. Площадь пойменных лугов, которые возможно использовать для очистки загрязненных вод методом внекорневой подкормки, составляет 33,3 га. Таким образом, за один сезон будет собрано примерно 482,85 центнеров фитомассы. Необходимо учесть, что сенокошение будет производиться несколько раз за сезон, урожайность трав значительно возрастет в связи с тем, что воды, загрязненные азотными соединениями, являются удобрением и стимулируют нарастание фитомассы. Поскольку процесс компостирования одного бурта занимает восемнадцать месяцев, то для утилизации фитомассы будут необходимы значительные площади. Причем на площадках, где будет производиться компостирование скошенной фитомассы, должна быть произведена гидроизоляция для исключения попадания загрязнителя в почву и грунтовые воды. По мере заполнения площадки для компостирования готовым компостом возникнет проблема её освобождения и реализации компоста как товарной продукции.

Если реализации не будет осуществлена, то площадка компостирования травы с «сенокосных лугов», богатой соединениями азота, может стать новым источником вторичного загрязнения поверхностных вод и, в случае отсутствия гидроизоляции – подземных вод.

Кроме того, по данным статей И.А. Брилинга и С.Р. Крайнова, В.П. Закутина [2, 3], при очистке загрязненных вод методом полива пойменных лугов происходит накопление азотных соединений в почвенном слое. Для предотвращения этого необходимо каждые два года менять поливаемую территорию.

При реализации этого метода ожидается снижение концентраций соединений азота как в толще, так и в водной среде, то есть происходит «отмывка» массива горных пород. Следует отметить, что участок недр, который можно реабили-

тировать с помощью данного подхода имеет жесткие границы, определяемые пространственным положением участка полива и линиями тока подземных вод.

Процессы миграции загрязнителя в водной среде, позволяют также рассматривать еще ряд направлений деятельности, которые бы могли повлиять на скорость восстановления экосистем. Причем эти мероприятия могут быть связаны исключительно с поверхностными водными объектами. К этим направлениям следует отнести:

- организация регулируемой промывки озер в межпаводковый период;
- организация регулируемой промывки в паводковый период;
- уменьшение глубины озер для снижения разгрузки ЗВ с подземными водами;
- создание геохимических барьеров для минимизации разгрузки ЗВ в водные объекты;
- создание геохимических барьеров для снижения скорости движения загрязняющих веществ.

Подводя итог, необходимо отметить что каждая территория, в пределах которой необходимо разрабатывать план реабилитационных мероприятий, обладает уникальными, присущими только ей параметрами. Климатические, гидрогеологические и гидрологические условия могут сильно отличаться друг от друга, поэтому разработка реабилитационных мероприятий должна осуществляться высококвалифицированными специалистами и, в каждом случае, набор наиболее эффективных решений будет уникален.

В каких-то случаях, наиболее эффективными методами станет промывка территории или создание геохимических, биологических барьеров, а где-то, локализация загрязнения или замещение грунтом.

Библиографический список

1. Клёцкина О.В., Ощепкова А.З. Методический подход к обоснованию критериев допустимого воздействия объекта размещения отходов на подземные воды с использованием гидрогеологического моделирования // Геология и полезные ископаемые Западного Урала, 2019, №2 (39). С. 337-342
2. Брилиг И.А. Нитратное загрязнение подземных вод удобрениями. / Гидрогеология и инженерная геология: обзор ВНИИ экон. минер. сырья и геол.-развед. работ ВИЭМС. // Москва, 1985, 49 с.
3. Крайнов С.Р., Закутин В.П. Загрязнение подземных вод в сельскохозяйственных регионах // Гидрогеология и инженерная геология: Обзор / Москва: «Геоинформмарк», 1993 – 86 с.
4. Клёцкина О.В., Минькевич И.И. Азотное загрязнение подземных вод и управление их качеством в промышленных районах // Вестник Пермского университета. Геология. 2013. № 4 (21). С. 8-20.
5. Килин Ю.А., Минькевич И.И., Клёцкина О.В., Катков В.А. Гидрогеоэкологические условия полигонов твердых бытовых и промышленных отходов в Пермском крае // Вестник Пермского университета. Геология. 2012. № 1 (14). С. 53-65.

ГЕОЛОГИЯ И ГЕОДИНАМИКА ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ ГОРОДА ПЕРМИ

Проведен анализ геологических и геодинамических условий в центральной части города Перми. Отмечено, что изученность геологической среды района очень слабая, основывается в основном на материалах государственной геологической съемки. Дешифрированием космических снимков масштаба 1:25 000 выделены 500 неотектонических линеаментов, 4 тектоногенные кольцевые структуры. Установлены участки с повышенной геодинамической активностью и трещиноватостью пород, которые, представляют собой потенциально опасные зоны. Их необходимо учитывать при проведении безопасной эксплуатации зданий, инженерных сооружений, экологических мероприятий и в других сферах хозяйственной деятельности.

Ключевые слова: геология, геодинамика, дешифрирование космических снимков, тектоническая трещиноватость, геоактивные зоны, Урал, город Пермь.

I.S. Kopylov
Perm State University, georif@yandex.ru

GEOLOGY AND GEODYNAMICS OF THE PERM CITY CENTRAL PART

The analysis of geological and geodynamic conditions in the central part of the city of Perm is carried out. It is noted that the knowledge of the geological environment of the region is very poor, based mainly on the materials of the state geological survey. Interpretation of satellite images at a scale of 1:25,000 identified, 500 neotectonic lineaments, 4 tectonogenic ring structures. Areas with increased geodynamic activity and fracturing of rocks have been identified, which are potentially dangerous zones. They must be taken into account when carrying out the safe operation of buildings, engineering structures, environmental measures and in other areas of economic activity.

Key words: geology, geodynamics, interpretation of satellite images, tectonic fracturing, geoactive zones, the Urals, the city of Perm.

Введение

Геологическое строение территории города Перми до сих пор остается «белым пятном» в геологии Западного Урала. Практически не изучено глубинное строение, поскольку здесь не проводилось глубокого бурения и глубинных геофизических исследований. Ближайшие глубокие скважины располагаются за пределами границ города на Краснокамском и Лобановском поднятиях. Изученность геологической среды Перми основывается лишь на материалах государственной геологической (Государственная геологическая карта..., 1991; 1992) и гидрогеологической съемок масштаба 1:200 000, инженерно-геологических изысканий и тематических специализированных работ. Вместе с тем в городе идет интенсивное возведение объектов

гражданского и промышленного строительства, проводятся экологические и иные мероприятия (в т.ч. – научные исследования), требующих геологического обоснования. Проводимых локальных инженерных изысканий непосредственно на площадках объектов часто, оказывается, недостаточно для надежного прогнозирования геологических процессов.

В 2021 г. в центральной части г. Перми в бассейнах рек Данилихи и Егошихи планируется организация особо охраняемых территорий (ООПТ). Появилась срочная необходимость геолого-картографического обеспечения данного проекта. Были проведены исследования, включающие анализ материалов по геологической среде и детальные аэрокосмогеологические исследования. Методика их проведения изложена в специальной литературе [7, 9].

Цель статьи: краткая характеристика геологических и геодинамических условий центральной части г. Перми для проектирования ООПТ и других объектов.

Структурно-тектонические условия

Рассматриваемая территория расположена на восточной окраине Восточно-Европейской платформы, Русской плиты, Волго-Уральской антеклизы (надпорядковой структуры). В тектоническом строении выделяется несколько структурных этажей. Они объединены в два структурных надэтажа. Архейско-среднепротерозойский надэтаж соответствует складчатому фундаменту, залегающий на глубинах свыше 3 км с тенденцией к погружению в восточном направлении [11]. Верхнепротерозойский-фанерозойский надэтаж сложен породами осадочного чехла и подразделяется на рифейско-нижневендский, верхневендский, палеозойский и мезозо-кайнозойский структурные этажи.

Территория находится в пределах Пермского свода (рис. 1), который является гетерогенной структурой, консолидировавшейся в послераннепермскую эпоху. Это сквозная структура (первого порядка) северо-восточного простирания, осложненная средними структурами второго порядка – Краснокамским валом (расположенным к северо-западу за пределами территории) и Лобановской валообразной зоной (расположенной к юго-востоку за пределами территории). Более детальных структур в пределах рассматриваемой территории фактически не установлено. Существует предположение о наличии в центральной части г. Перми «структуры», названной «Пермской», представляющей собой брахиантиклинальную складку длиной 10 км, шириной 3-4 км, амплитудой 10-15 м (Структурная геология..., 2012 и др.). Однако, это предположение – пока бездоказательно. Фактически на территории закартирована (по структурным картам ООО «ПермНИПИнефть», учитывающим весь фонд скважин) лишь одна незамкнутая стратоизогипса - 150 м (по кровле кунгурского яруса), проходящая по центру в меридиональном направлении (рис. 1). По дешифрированию космических снимков в пределах территории выделяются фрагменты 4-х кольцевых структур (размером 3-5,5 x 2-3 км), отражающих неоднородности осадочного чехла и возможно погребенные локальные положительные структуры (рис. 2).

Тектонические условия района осложнены тектоническими нарушениями разных рангов, обуславливающих разломно-блоковое строение. Древний разлом по фундаменту пересекает территорию г. Перми в субширотном направлении в 5 км к северу от границ рассматриваемой площади.

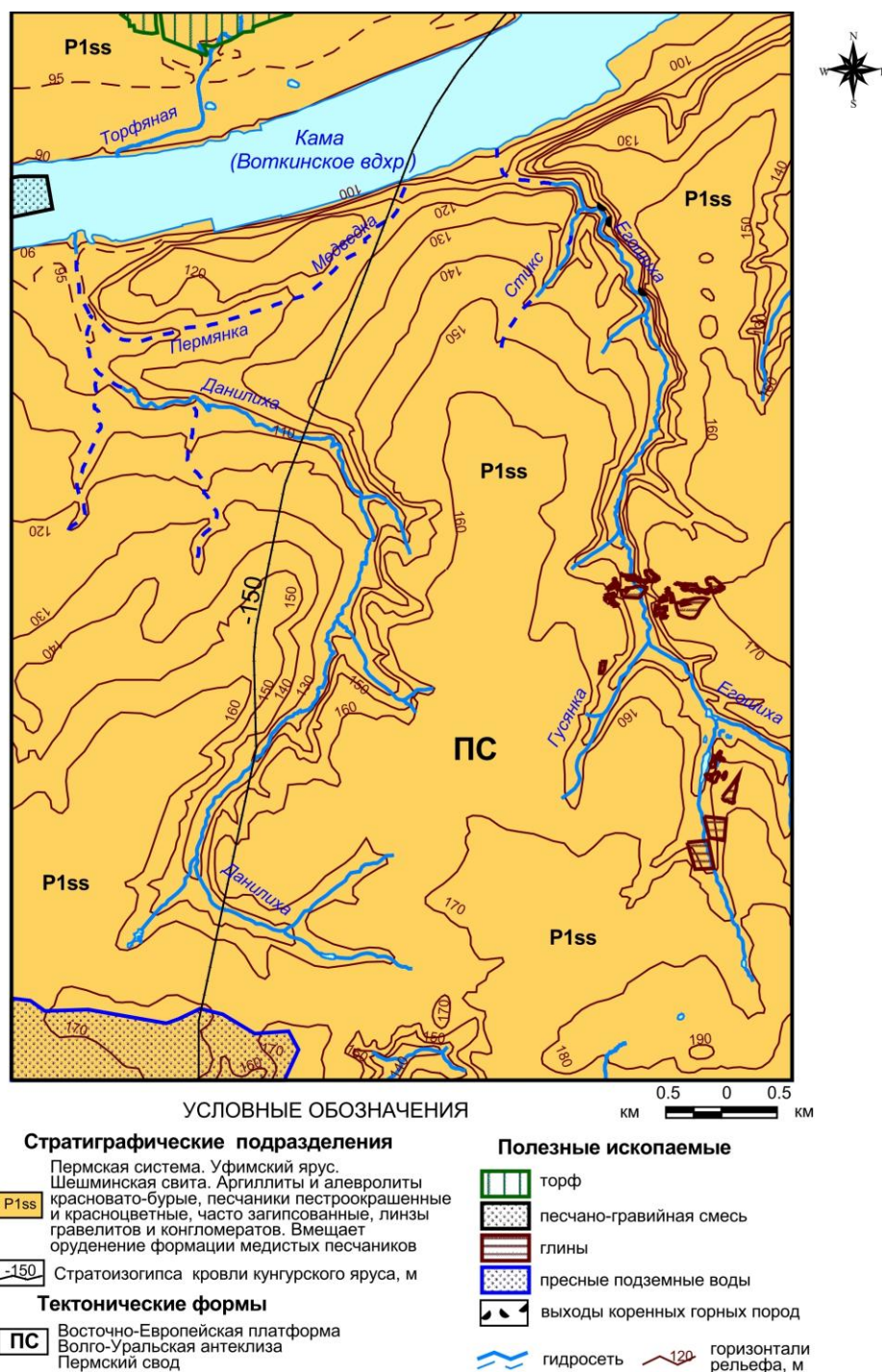


Рис. 1. Геологическая карта дочетвертичных образований центральной части г. Перми

Анализ разломно-блоковой тектоники города показывает, что позднепротерозойские разломы имеют в основном субмеридиональное и северо-восточное простирание. Линейные мобильные зоны палеозойского структурного этажа осложнены разрывами и флексурами. В верхней части

осадочного чехла выявлен ряд мелких разрывных нарушений. Ряд разломов более древнего заложения имеет продолжение в верхних частях разреза и выражен в виде элементов неотектоники, трещиноватости пород и ряда других признаков.

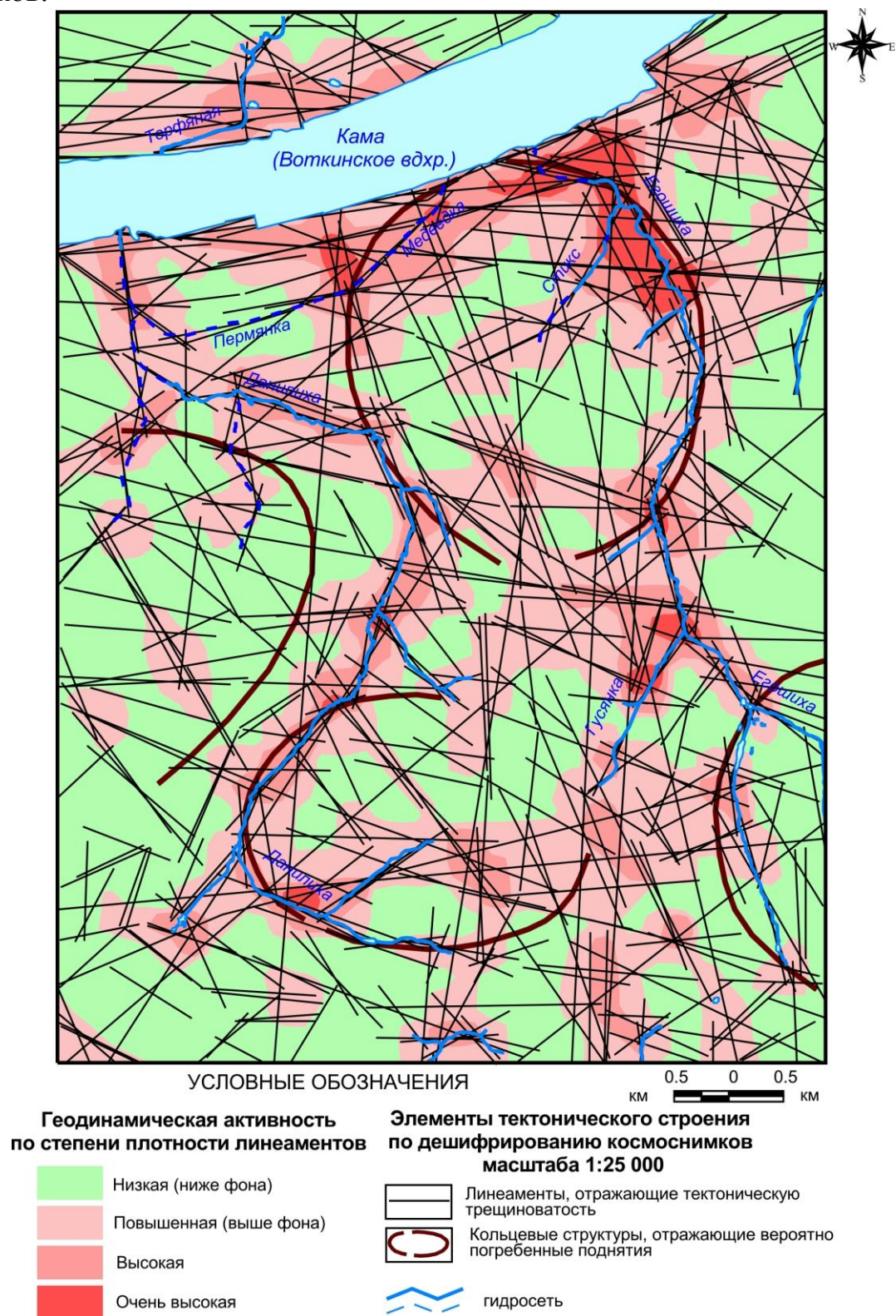


Рис. 2. Карта тектонической трещиноватости и геодинамических активных зон центральной части г. Перми

Стратиграфия и литология

Осадочный чехол в пределах рассматриваемой территории представлен породами палеозоя и мезо-кайнозоя. На поверхность выходят породы пермской системы, нижнего отдела, уфимского яруса (по ОСШ России, 2013), шешминской свитой, перекрытые маломощными четвертичными отложениями (рис. 1).

Шешминская свита (P_{1ss}) выделена В.И. Игнатьевым в 1977 г. на Русской плите, залегает согласно на породах соликамской свиты. Шешминская свита характеризуется большой пестротой литологического состава и существенной фациальной изменчивостью. Наряду с преобладающими песчано-глинистыми красноцветными образованиями в ней присутствуют серые известковистые аргиллиты и песчаники, пестрые и серые мергели с незначительными по мощности прослоями конгломератов, включающих гальку уральских пород. Всем породам свойственны значительная известковистость и загипсованность. В отложениях свиты наблюдаются внутриформационные размывы; песчаники иногда залегают в виде линз, выполняющих руслообразные промоины. Нижняя граница шешминской свиты проводится по исчезновению из разреза плитчатых кремневых известняков и доломитов и появлению мощных слоев красно-бурых аргиллитов, алевролитов и песчаников; обосновывается палеонтологически по комплексу остракод [1]. В скважинах совпадает с кровлей хорошо выдержанного слоя (мощностью до 3 м) ангидритов, гипсов или загипсованных глин. Литологически свита подразделена на две подсвиты – нижнешешминскую и верхнешешминскую.

На рассматриваемой территории картируется только нижнешешминская подсвита, которая вскрывается мелкими скважинами (глубиной до 30 м). В долине р. Егошихи имеются выходы коренных пород (мощностью до 10 м), большей частью в виде осыпи, заросшие кустарником.

По своему составу нижнешешминская подсвита является глинисто-песчаной. В ней преобладают песчаники зеленовато-, буровато-серые с красновато-коричневым оттенком, мелко и среднезернистые, известковистые, неравномерно глинистые, полимиктовые, часто слюдистые, нормально- и косослоистые, крепкие и слабые. Залегают песчаники в виде довольно мощных (мощностью до 3-4 м) линзовидных тел среди красноцветных аргиллитов и алевролитов. Алевролиты коричневые, красновато-коричневые, буровато-серые, слабо песчанистые, обычно известковистые, тонкослоистые. Аргиллиты коричневые, красновато-коричневые, вишневые, с голубыми и серыми пятнами, участками алевролитистые и комковатые, листовато-слоистые. В подошве песчаниковых слоев наблюдаются прослои и небольшие линзы гравелитов и конгломератов с гальками аргиллитов, алевролитов и уральских пород. Известняки буровато-серые и коричневатые-серые, обычно пелитоморфные, глинистые. Фаунистически отложения нижней подсвиты охарактеризованы слабо. В них встречены остракоды, пелециподы, растительные остатки [2,3]. Мощность подсвиты в пределах рассматриваемой территории до 150 м.

С песчаниками связано медное оруденение. Многочисленные проявления медной минерализации, локализованные в низах свиты, приурочены в

основном к среднезернистым известковистым пестроцветным песчаникам, часто с обуглившимися растительными остатками. Для рудных тел характерна линзообразная, гнездообразная или, реже, пластообразная формы залегания. Содержание меди в рудных прослоях изменяется в широких пределах и, видимо, зависит от литологии медьсодержащих пород. Наиболее высокие (до 20%) содержания известны для песчаников и конгломератов, в мергелях и глинистых сланцах они достигают 2-5%, в известняках не превышают 1,5%. Рудная минерализация представлена, главным образом, малахитом, азуритом, халькозином, купритом, реже дигенитом, халькопиритом, борнитом, ковеллином и др. минералами [14].

Коренные породы шешминской свиты перекрыты практически сплошным чехлом отложениями четвертичного возраста различным по мощности (3-10 и более м). Четвертичные образования представлены комплексом рыхлых континентальных осадков, среди которых преобладают аллювиальные и полигенетические, а также болотные и техногенные образования.

Современная сейсмическая и геодинамическая активность

Долгие годы сейсмическая активность Уральского региона недооценивалась и, как правило, Урал и Русская платформа относились к асейсмичным районам. В настоящее время карта сейсмического районирования России, в том числе Урала изменена. По картам общего сейсмического районирования ОСР-2015-С и ОСР-2016-С [12] на территории Пермского края выделена зона 7 – балльной интенсивности землетрясений, приуроченная к разломно-блоковым структурам земной (включая город Пермь). Сейсмическая опасность этого района особенно усиливается аномально высоким уровнем техногенной нагрузки на недра, что является отличительной чертой современной геодинамики территории г. Перми. Высокий уровень техногенной нагрузки на недра, связан с влиянием заполнения камских водохранилищ, откачкой подземных вод, в какой-то степени и разработкой месторождений меди в 18-19 вв. В результате интенсивной техногенной деятельности недра выведены из состояния относительного равновесия, в котором находились миллионы лет. Техногенные землетрясения – это попытки земных недр прийти к новому равновесному состоянию. На активные геодинамические процессы, происходящие в этой зоне, указывает опускание большого участка Камского водохранилища. Так же здесь имеется ряд промышленных объектов, аварии на которых могут обернуться социальными и экономическими катастрофами. Все эти обстоятельства указывают на необходимость проведения мониторинга сейсмических процессов.

Геологическая опасность территории обусловлена высокой степенью геодинамической (неотектонической) активности с формированием активных геодинамических зон [4,5]. По результатам аэрокосмогеологических исследований на территории Пермского края (в т.ч. – территории г. Перми) выявлена сеть основных прямолинейных линеаментов различных направлений, предположительно отобразивших активизированные в новейшее время узкие субвертикальные линейные зоны трещинно-разрывных структур и зоны

тектонической трещиноватости в палеозойском осадочном чехле и фундаменте. Для территории Пермского края составлена карта геодинамических активных зон масштаба 1:500 000 [8]; для территории г. Перми – масштаба 1:100 000 [10]. На этой карте, в пределах рассматриваемой территории в северной ее части выделяется фрагмент крупной геодинамической активной зоны. Эта региональная геоактивная зона проходит в субширотном направлении, вдоль р. Камы (вблизи глубинного тектонического разлома по фундаменту), охватывая приустьевую часть р. Данилихи и низовье р. Егошихи. Она сопровождается многочисленными геохимическими и гидрогеологическими аномалиями; с ней связано развитие экзогенных геологических процессов, ухудшение физико-механических свойств грунтов [4,6].

В настоящей работе в центральной части Перми впервые проведено дешифрирование космических снимков в масштабе 1:25 000. Выделено 500 прямолинейных неотектонических линеаментов (мегатрещин) различных систем направлений (ортогональной и диагональной), протяженностью от 0,5-1 до 5 км (рис. 2).

Проведен анализ плотности линеаментов и мегатрещиноватости и по этим показателям выполнена оценка геодинамической активности территории города. Крупные геодинамические зоны по новым данным «разбиты» на ряд геодинамических зон более низкого порядка, преимущественно в северо-восточной части площади – в низовье р. Егошихи (площадью 2 x 1-0,5 км) и локально – в верхней и средней частях рек Егошихи, Данилихи и Медведки (8 аномалий с площадями 0,5x0,3 км) (рис. 2).

Геодинамические активные зоны представляют собой потенциально опасные зоны, которые необходимо учитывать при проведении безопасной эксплуатации зданий, инженерных сооружений, экологических мероприятий и в других сферах хозяйственной деятельности.

Библиографический список

1. *Водолазская В.П., Тетерин И.П., Кириллов В.А., Лукьянова Л.И. и др.* Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 (третье поколение). Серия Уральская. Лист О-40. Пермь. Объяснительная записка. СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2015. 497 с.
2. *Государственная геологическая карта* (карта дочетвертичных отложений). Масштаб 1:200 000. Пермская серия. О-40-XXI. (Кунгур) / М.И. Денисов, А.А. Болотов. Редактор В.П. Горский. ВСЕГИНГЕО, Л., 1991.
3. *Государственная геологическая карта* (карта дочетвертичных отложений). Масштаб 1:200 000. Пермская серия. О-40-XV (Пермь) / З.А. Леонова-Вендровская, Е.Н. Ларионова. Редактор В.П. Горский. Гл. редактор О.А. Щербаков. ВСЕГИНГЕО, Л., 1992.
4. *Копылов И.С.* Геоэкология, гидрогеология и инженерная геология Пермского края. Пермь, 2021. 501 с.
5. *Копылов И.С.* Основные фундаментальные и прикладные направления в изучении геодинамических активных зон // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2015. № 8-1. С. 82-86.
6. *Копылов И.С.* Аномалии тяжелых металлов в почвах и снежном покрове города Перми как проявления факторов геодинамики и техногенеза // Фундаментальные исследования. 2013. № 1-2. С. 335-339.

7. *Копылов И.С.* Ландшафтно-геодинамический анализ при поисках нефти и газа. Beau Bassin, Mauritius, 2018. 210 с.
8. *Копылов И.С.* Линеаментно-геодинамический анализ Пермского Урала и Приуралья // Современные проблемы науки и образования. 2012.
9. *Копылов И.С.* Морфонеотектоническая система оценки геодинамической активности. Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2019. 131 с.
10. *Копылов И.С., Коноплев А.В., Голдырев В.В., Кустов И.В., Красильников П.А.* К вопросу об обеспечении геологической безопасности развития городов // Фундаментальные исследования. 2014. № 9-2. С. 355-359.
11. *Копылов И.С., Наумов В.А., Наумова О.Б., Харитонов Т.В.* Золото-алмазная колыбель России. Пермь, 2015. 131 с.
12. *Общее сейсмическое районирование территории Российской Федерации.* Пояснительная записка к комплекту карт ОСР-2016 и список населенных пунктов, расположенных в сейсмоактивных зонах / Главные редакторы: В.И. Уломов, М.И. Богданов. М., 2016. 73 с.
13. *Структурная геология* и геологическое картирование. Геологическое строение района г. Перми: Учебное пособие к практике по геологическому картированию / А.С. Сунцев, З.А. Леонова-Вендровская, М.И. Денисов, И.И. Черткова. Пермь: Перм ун-т, Издание 2-е. 2012. 115 с.
14. *Харитонов Т.В.* Пермская медь [электронный ресурс]: обзор опубликованных и фоновых источников. Аннот. библиогр. указ. – 2-е изд., испр. и доп. Пермь: Перм. гос. нац. ис-след. ун-т, 2018.
15. *Копылов И.С.* Особенности геохимических полей и литогеохимические аномальные зоны Западного Урала и Приуралья // Вестник Пермского университета. Геология. 2011. № 1. С. 26-37.
16. *Копылов И.С.* Эколого-геохимические закономерности и аномалии содержания микроэлементов в почвах и снежном покрове приуралья и города Перми // Вестник Пермского университета. Геология. 2012. № 4 (17). С. 39-46.

РЕДКИЕ И РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ В ПОРОДНЫХ ОТВАЛАХ КИЗЕЛОВСКОГО УГОЛЬНОГО БАСЕЙНА

Проведены исследования состава породных отвалов Кизеловского угольного бассейна. Исследования включали в себя определение содержания редких (Li, Ge, Ga) и редкоземельных элементов в изученных пробах. Результаты показали присутствие скандия, лития, галлия и германия в концентрациях, превышающих кларк осадочных горных пород.

Ключевые слова: редкоземельные элементы, РЗЭ, литий, галлий, германий, Кизеловский угольный бассейн.

P.A. Belkin, R.D. Perevoshchikov, M.A. Volkova
Natural Science Institute of Perm State University, pashabelkin@mail.ru

RARE AND RARE-EARTH ELEMENTS IN ROCK DUMPS OF THE KIZEL COAL BASIN

Studies of the composition of rock dumps of the Kizel coal basin have been carried out. Researches included definition of the contents of rare (Li, Ge, Ga) and rare-earth elements in the studied samples. The results showed the presence of scandium, lithium, gallium and germanium in concentrations exceeding the sedimentary rock clark.

Keywords: rare-earth elements, REE, lithium, gallium, germanium, Kizel coal basin.

Редкоземельные элементы являются важным и крайне дефицитным видом сырья. Уникальные свойства этих веществ (магнитные, люминесцентные, химические) определили их широкое использование в высокотехнологичных отраслях промышленности, таких как производство компьютерной техники и электроники, магнитов, аккумуляторов, каталитических нейтрализаторов. Кроме того, редкоземельные элементы широко применяются в нефтяной промышленности, а также являются важным элементом при разработке «зеленых» технологий, таких как электромобилестроение, производство ветровых турбин, энергоэффективного освещения и др. [13].

Международный союз теоретической и прикладной химии (IUPAC) объединяет под названием редкоземельных элементов (РЗЭ) 17 химических веществ, в том числе 15 элементов в группе лантаноидов, а также скандий и иттрий (IUPAC, 2005). Несмотря на свое название, редкоземельные элементы характеризуются достаточно высоким содержанием в земной коре. Например, кларк церия в осадочных горных породах (Се, 52 мг/кг) выше кларка цинка (Zn, 43 мг/кг), а среднее содержание лантана и иттрия (La, 32 мг/кг, Y, 29 мг/кг) сопоставимо с содержанием меди (Cu, 31 мг/кг) [3].

При этом, важнейшей особенностью РЗЭ является высокая степень рассредоточенности в земной коре, малое количество месторождений. В этом

отношении, к РЗЭ близки также такие редкие элементы, как скандий, галлий, германий.

Большая часть мирового производства РЗЭ в настоящее время связана с добычей и переработкой четырех минералов: бастнезит, монацит, ксенотим и лопарит. Эти минералы в основном связаны с магматическими породами (щелочными породами и карбонатитами) и продуктами их выветривания, которые характеризуются весьма ограниченным распространением. На конец второго десятилетия XXI века наибольшую долю мировой добычи и переработки РЗЭ удерживают производители из Китая (85-90 %) [9,13 ; USGS, 2021).

Значительная потребность в РЗЭ и редких металлах, высокая цена этих веществ на мировом рынке способствовала проведению большого числа исследований альтернативных источников редких элементов.

Одним из таких источников могут выступать угольные месторождения. Исследования В. Середина и С. Даи показали, что для многих угольных месторождений характерны высокие содержания РЗЭ как в самих углях и угольных золах, так и во вмещающих породах и породах фундамента некоторых угольных бассейнов [12]. Исследователи выделили четыре генетических типа обогащения угольного бассейна РЗЭ:

- 1) терригенный тип (поступление РЗЭ с поверхностными водами);
- 2) туфогенный тип (поступление РЗЭ с вулканическим пеплом);
- 3) инфильтрационный (метеорный) тип (поступление с грунтовыми водами);
- 4) гидротермальный тип (поступление РЗЭ с восходящими потоками термальных вод и глубинных флюидов).

Наряду с потенциальной возможностью использования углей как источника РЗЭ, для многих угледобывающих территорий остро стоит проблема хранения и утилизации отходов добычи угля и его сжигания. Исследования содержания редкоземельных и рассеянных элементов в отходах угольной промышленности и продуктах сжигания угля проводились в России [4,5], Польше [6,11], Бразилии [8].

В настоящей работе авторами проведено исследование содержания редких и рассеянных элементов в шахтных отвалах Кизеловского угольного бассейна. Кизеловский угольный бассейн (КУБ) вытянут узкой полосой в меридиональном направлении вдоль западного склона Среднего Урала. Его разработка, начавшаяся еще в конце XVIII века, завершилась в 2002 году.

Разработка месторождений угля в Кизеловском бассейне сопровождалась образованием породных отвалов, в которых размещались обломки вмещающих пород – аргиллитов, песчаников, известняков с присутствием угля. Также отвалы содержат древесину, металлические предметы и строительный мусор. Породы отвалов разнообразны по гранулометрическому составу, имеют размер от глинистых частиц до глыб. Они складировались в виде хребтовых и плоских отвалов, терриконов высотой до 80 м. В 53 отвалах, занимающих более 300 га, складировано свыше 24 млн м³ твердых отходов угледобычи [1].

Объектом исследования являются породы отвалов угольных шахт в окрестностях города Губахи Пермского края. Исследования включали отбор

проб пород из шести отвалов шахт «Центральная», «им. Калинина», «Новая», «Нагорная», «Шумихинская» и «им. 40-летия Октября» (рис. 1). Изученные отвалы занимают площадь более 60 га, в них складировано более 3 млн м³ горных пород [2].



Рис. 1. Схема расположения отвалов шахтных пород на территории Кизеловского угольного бассейна

Для изучения были отобраны пробы пород отвалов с поверхности, а также с глубины 0,5 м. Всего отобрано и исследовано 30 проб шахтных отвалов, в том числе с отвала шахты 40 Октября – 6 шт., с отвала шахт Нагорная, им. Калинина, Новая, Центральная – по 4 шт., с отвала шахты Шумихинская – 8 проб.

Лабораторные исследования проводились в Секторе наноминералогии Центра коллективного пользования Пермского государственного национального исследовательского университета и включали в себя оценку концентрации 48 микроэлементов в образцах пород методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ICP-MS). Результаты исследований содержания лития, галлия, германия и редкоземельных металлов приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Содержание редких и редкоземельных микроэлементов в пробах шахтных отвалов Кизеловского угольного бассейна

Наименование отвала, количество проб	Содержание, мг/кг (среднее/максимальное)									
	<i>Li</i>	<i>Sc</i>	<i>Ga</i>	<i>Ge</i>	<i>Y</i>	<i>La</i>	<i>Ce</i>	<i>Pr</i>	<i>Nd</i>	<i>Sm</i>
Шахта 40 лет Октября, горелый отвал (п. Шумихинский), n=6	239,6/275,7	40,92/51,40	41,74/57,26	11,73/19,17	2,47/3,52	3,30/4,97	8,30/13,08	0,98/1,51	2,92/4,51	0,51/0,80
Шахта Нагорная, n=4	146,5/206,2	53,99/58,66	32,34/35,89	7,71/11,03	2,33/3,40	3,13/4,79	7,57/11,10	0,87/1,23	2,63/3,58	0,49/0,65
Шахта им. Калинина, n=4	109,1/96,9	24,47/28,27	9,71/10,47	2,96/3,06	0,21/0,29	0,07/0,12	0,23/0,29	0,01/0,01	0,08/0,10	0,01/0,02
Шахта Новая, n=4	37,7/49,6	32,53/48,59	6,00/7,93	2,16/3,07	6,40/10,54	3,71/6,60	9,40/15,65	0,96/1,63	3,87/6,47	0,93/1,46
Шахта Центральная, n=4	146,8/297,1	47,56/55,22	19,58/25,78	4,84/9,28	0,09/0,11	0,08/0,10	0,22/0,27	0,01/0,01	0,06/0,09	0,004/0,10
Шахта Шумихинская, n=8	273,7/305,2	47,41/64,37	24,31/28,65	7,91/9,87	0,14/0,35	0,14/0,41	0,39/1,02	0,02/0,12	0,14/0,42	0,02/0,08
В каменных углях мира [7]	14,0	3,70	6,00	2,40	8,20	11,00	23,00	3,40	12,00	2,20
Кларк осадочных пород [3]	33,0	9,60	12,00	1,40	29,00	32,00	52,00	6,80	24,00	5,50
Шахта 40 лет Октября, горелый отвал (п. Шумихинский), n=6	0,15/0,24	0,63/0,97	0,07/0,11	0,42/0,61	0,07/0,11	0,28/0,61	0,04/0,06	0,24/0,36	0,03/0,04	20,43/31,31
Шахта Нагорная, n=4	0,14/0,20	0,59/0,85	0,08/0,11	0,41/0,60	0,08/0,12	0,27/0,37	0,04/0,06	0,30/0,46	0,04/0,06	18,98/27,53
Шахта им. Калинина, n=4	0,02/0,03	0,03/0,04	0,032/0,035	0,03/0,06	0,025/0,031	0,02/0,04	0,017/0,021	0,02/0,04	0,019/0,023	0,83/1,11
Шахта Новая, n=4	0,20/0,34	1,07/1,75	0,16/0,29	1,28/2,05	0,24/0,41	0,83/1,30	0,10/0,16	0,80/1,20	0,10/0,17	30,04/48,94
Шахта Центральная, n=4	0,02/0,03	0,02/0,03	0,036/0,037	0,007/0,013	0,034/0,035	0,017/0,022	0,022/0,023	0,034/0,038	0,025/0,026	0,68/0,81
Шахта Шумихинская, n=8	0,02/0,03	0,03/0,08	0,03/0,04	0,01/0,04	0,031/0,034	0,014/0,017	0,021/0,022	0,026/0,033	0,025/0,026	1,07/2,63
В каменных углях мира [7]	0,43	2,70	0,31	2,10	0,57	1,00	0,30	1,00	0,20	–
Кларк осадочных пород [3]	0,94	4,00	0,69	3,60	0,92	1,70	0,78	2,00	0,44	–

Примечание: **полужирным** шрифтом выделены ячейки, в которых среднее содержание элемента в пробах превышает кларк в осадочных горных породах.

Результаты сопоставления выявленных концентраций редких и редкоземельных элементов в отвалах Кизеловского угольного бассейна с кларками осадочных горных пород [3] показали значительную степень обогащения вещества всех исследованных отвалов *литием, скандием и германием*. Содержание *галлия* в породных отвалах шахт 40 лет Октября, Нагорная, Центральная, Шумихинская в 2-4 раза превышает кларк в осадочных горных породах. Содержание иттрия и лантаноидов в изученных отвалах значительно ниже кларковых значений.

Полученные результаты могут быть полезны при рассмотрении вопросов возможного использования вещества техногенных массивов, а также рекультивационных и ремедиационных работ на территории Кизеловского угольного бассейна в части обеспечения принципов рационального недропользования.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-05-50071.

Библиографический список

1. Кудряшов А.И. Минерально-сырьевые ресурсы Пермского края: энциклопедия. Пермь: Книжная площадь, 2006. 464 с.
2. Меньшикова Е.А., Блинов С.М., Бельшев Д.А., Перевоицков Р.Д. Радиационные исследования отвалов Кизеловского угольного бассейна. Известия Уральского государственного горного университета, 2019, № 4 (56). С. 81-89.
3. Ронов А.Б., Ярошевский А.А., Мигдисов А.А. Химическое строение земной коры и геохимический баланс главных элементов. М.: Наука, 1990. 182 с.
4. Салихов В.А. Перспективы извлечения ценных цветных и редких металлов из золошлаковых отвалов энергетических предприятий Кемеровской области. Вестник Томского государственного университета, 2009, № 327. С. 163-168.
5. Черкасова Т.Г., Черкасова Е.В., Тихомирова А.В., Бобровникова А.А., Неведров А.В., Папин А.В. Угольные отходы как сырье для получения редких и рассеянных элементов. Вестник Кузбасского государственного технического университета, 2016, № 6 (118). С. 185-190.
6. Franus, W., Wiatros-Motyka, M.M. & Wdowin, M. Coal fly ash as a resource for rare earth elements. Environ Sci Pollut Res, 2015, 22, 9464–9474. DOI: 10.1007/s11356-015-4111-9.
7. Ketris M.P., Yudovich Ya.E. Estimations of Clarkes for Carbonaceous biolithes: World averages for trace element contents in black shales and coals. International Journal of Coal Geology, 2009, 78(2). P.135-148. DOI: 10.1016/j.coal.2009.01.002.
8. Lange C.N., Camargo I.M.C., Figueiredo A.M. et al. A Brazilian coal fly ash as a potential source of rare earth elements. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, 2017, 311. P. 1235–1241.
9. Minerals Year Book—Rare Earths. U.S. Geological Survey, 2021. URL: <https://www.usgs.gov/centers/nmic/rare-earths-statistics-and-information>.
10. *Nomenclature of Inorganic Chemistry*. IUPAC recommendations 2005. RSC Publishing, 2005. 377 p.
11. Nowak J., Kokowska-Pawłowska M. Changes in the Concentration of Some Rare Earth Elements in Coal Waste. Arch. Min. Sci., 2017, 62, 3. P. 495-507. DOI: 10.1515/amsc-2017-0037.
12. Seredin V.V., Dai S. Coal deposits as potential alternative sources for lanthanides and yttrium. International Journal of Coal Geology, Volume 94, 2012. P. 67-93. DOI: 10.1016/j.coal.2011.11.001.

13. *Zhou B., Li Z., Chen C.* Global Potential of Rare Earth Resources and Rare Earth Demand from Clean Technologies // *Minerals*, 2017, 7(11). P. 203. DOI: 10.3390/min7110203.
14. *Белкин П.А.* Химический состав родникового стока в районе складирования отходов разработки и обогащения калийных солей. // *Вестник Пермского университета. Геология*. 2020. Т. 19. № 3. С. 232-240.

СОСТАВЛЯЮЩИЕ МОНИТОРИНГА ПРИРОДНО-ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ ГОРНОПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ

Рассматриваются подходы к программам литомониторинга горнопромышленных территорий, в которые для оценки масштабов техногенного преобразования геологической среды, должны включаться и исследования специфики вещественного состава грунтов и осадков, в том числе и в зоне потенциального воздействия природно-технических систем – техногенную ассоциацию компонентов, их устойчивость и токсичность, техногенно-геохимическую ассоциацию элементов, развития процессов минералообразования.

Ключевые слова: геологическая среда, природно-технические системы, литотехнические системы, литомониторинг, грунты, осадки.

Е.А. Menshikova
Natural Science Institute, Perm State University, menshikova_e@list.ru

COMPONENTS OF THE MONITORING OF NATURAL AND TECHNICAL SYSTEMS OF MINING TERRITORIES

Approaches to programs of lithomonitoring of mining territories, in which for an estimation of the scale of a man-made transformation of the geological environment, should be included also research of the substance composition of ground and sediments, including in a zone of potential influence of natural technical systems - man-made association of components, their stability and toxicity, man-made geochemical association of elements, development of processes of mineral formation are considered.

Key words: geological environment, natural-technical systems, lithotechnical systems, lithomonitoring, ground, sediments.

Особенности взаимодействия компонентов природной среды с инженерными сооружениями рассматриваются в аспекте природно-технических систем (ПТС) – совокупности взаимосвязанных природных и искусственных объектов, формирующихся в результате инженерно-хозяйственной деятельности человека [3,4,5]. Для горнодобывающих территорий ведущую роль в ПТС играют процессы взаимодействия искусственных объектов (технических систем) с некоторой областью литосферы (геологической средой). Подобные системы рассматриваются как литотехнические (ЛТС) [6]. В ЛТС взаимодействие составляющих сопровождается специфическими инженерно-геологическими процессами, что делает их особым объектом изучения инженерной геологии. В них активно протекают процессы формирования техногенных грунтов, которые инициируются различной инженерно-хозяйственной деятельностью и

благодаря существенной мощности (прежде всего на участках размещения отходов горнодобывающей отрасли) играют существенную роль в преобразовании геологической среды. Изучение техногенно-измененной геологической среды является одной из приоритетных задач современной инженерной геологии [1].

Оптимальное функционирование ПТС достигается сочетанием необходимых параметров технической составляющей с требованиями к охране окружающей среды. На современном этапе изучение ПТС как результата трансформации окружающей среды позволяет оценить последствия производственно-хозяйственной деятельности человека и получить необходимую информацию для разработки природоохранных мероприятий. Способом получения оперативной информации, которая выступает основой разработки мероприятий по управлению ПТС, выступает мониторинг, а с учетом конкретизации и отражения специфики исследуемого компонента ПТС – литомониторинг или мониторинг геологической среды.

По Трофимову, целью мониторинга геологической среды является установление тенденций развития геологической среды (или ее части в пределах ПТС) и принятия на основе этого управленческих решений по оптимизации функционирования ПТС. Природно-технические системы, формирующиеся в горнодобывающих районах, являются объектами повышенного экологического внимания в связи со значительным техногенным преобразованием всех компонентов природной среды. Их состояние среди прочих составляющих определяется свойствами литогенного ресурса, которым для территорий горной добычи выступают многотоннажные отходы – породы вскрыши и отходы обогащения полезных ископаемых. Многоплановое изучение грунтов с инженерно-геологических и эколого-геологических позиций направлено на обеспечение устойчивого функционирования ЛТС.

В рамках задачи расширения учитываемых компонентов для оценки масштабов техногенного преобразования геологической среды [2] в программы литомониторинга ПТС (ЛТС) горнопромышленных территорий должны включаться следующие исследования специфики вещественного состава грунтов и осадков, в том числе и в зоне потенциального воздействия ПТС – техногенной ассоциации компонентов (их устойчивость и токсичность) [8,12], техногенно-геохимических ассоциаций элементов [7,11,14], развития процессов минералообразования, которые с одной стороны, обеспечивает процессы самоочищения, с другой – представляет собой источник вторичного загрязнения на участках активной аккумуляции [9,13]. Последние зоны формируют поля концентрации техногенных веществ и продуктов, которые могут возникать на значительном удалении от источников техногенного воздействия. Эта информация позволит более детально обосновать границы и область допустимых состояний ПТС (т.е. не превышающих предельно допустимых значений – предельно допустимых концентраций, уровней,

нагрузок и др.), прогнозировать состояние геологической среды в ходе природной эволюции и прогрессирующем техногенном воздействии.

Результаты таких исследований будут являться вкладом в развитие теории ПТС, способствовать накоплению научных знаний об объекте, в том числе в важнейшей сфере предельно допустимых техногенных нагрузок на геологическую среду, выступят основой теории и технологий управления ПТС.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-05-500718.

Библиографический список

1. Дудлер И.В., Воронцов Е.А., Ляровский С.П. Приоритетные направления развития инженерной геологии в XXI веке //Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. №8-2. С. 194–200.
2. Дудлер И.В., Фуникова В.В. Геологическая среда в современную эпоху: приоритеты изучения и оценки с позиций инженерной и экологической геологии //Новые идеи и теоретические аспекты инженерной геологии. Труды Междунар. научн. конференции (Москва, МГУ, 4 февраля 2021 г.). М., 2021. С.108–113.
3. Ломтадзе В.Д. Словарь по инженерной геологии. СПб: Изд-во СПбГИ, 1999. 360 с.
4. Мазур И.И., Молдаванов О.И. Курс инженерной экологии. М.: Высшая школа, 2001. 510 с.
5. Ревзон А.Л. Картографирование состояния природно-технических систем. М.: Недра, 1992. 223 с.
6. Бондарик Г.К. Экологическая проблема и природно-технические системы. М.: Икар, 2004. 152 с.
7. Ворончихина Е.А., Блинов С.М., Меньшикова Е.А. Технофильные металлы в естественных и урбанизированных экосистемах Пермского края //Экология урбанизированных территорий. 2013. № 1. С. 103–108.
8. Меньшикова Е.А. Оценка потенциальной экологической опасности техногенных компонентов современных речных осадков // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении. Науч. чтения памяти П.Н. Чирвинского: сб. науч. статей / Перм. гос. нац. иссл. ун-т. Пермь, 2021. Вып. 24. С.127–130.
9. Меньшикова Е.А., Блинов С.М. Природно-техногенное минералообразование на участке самоизлива шахтных вод в Кизеловском угольном бассейне // Осадочные комплексы Урала и прилегающих регионов и их минерагения: материалы 11 Уральского литологического совещания. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2016. С. 174–176.
10. Меньшикова Е.А., Блинов С.М., Бельшев Д.А., Перевоицков 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. (a)
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.(б)
12. Меньшикова Е.А., Осовецкий Б.М. Углистые частицы в окружающей среде // Проблемы региональной экологии. № 5. 2014. С.83–88.
13. Menshikova, E.; Osovetsky, B.; Blinov, S.; Belkin, P. Mineral Formation under the Influence of Mine Waters (The Kizel Coal Basin, Russia). Minerals 2020, 10, 364. DOI: 10.3390/min10040364.

14. *Menshikova E., Perevoshchikov R., Belkin P., Blinov S.* Concentrations of Natural Radionuclides (40K, 226Ra, 232Th) at the Potash Salts Deposit //Journal of Ecological Engineering 2021, 22(3), 179–187. <https://doi.org/10.12911/22998993/132544>.

15. *Трофимов В.Т.* Актуальные вопросы изучения грунтов в инженерной геологии и экологической геологии //Геология, география и глобальная энергия. 2011. №2 (41) С. 6–13.

16. *Трофимов В.Т., Харьковина М.А.* Мониторинг геологических, литотехнических и эколого-геологических систем как необходимая составляющая формирования культуры безопасности жизни //В сборнике: Комплексные проблемы техносферной безопасности. Актуальные вопросы безопасности при формировании культуры безопасной жизни. Материалы XIV Международной научно-практической конференции, посвященной Году культуры безопасности. В 3-х частях. 2018. С. 78–82.

17. *Белкин П.А.* Химический состав родникового стока в районе складирования отходов разработки и обогащения калийных солей. // Вестник Пермского университета. Геология. 2020. Т. 19. № 3. С. 232-240.

ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ НА ПОДТОПЛЯЕМЫХ ТЕРРИТОРИЯХ УГОЛЬНЫХ ШАХТ И ПОСЕЛКОВ ПРИМОРСКОГО КРАЯ

Проведено изучение гидрогеологических условий на подтопляемых территориях в Партизанском угольном бассейне Приморского края. Изучены техногенные и природно-геологические факторы подтопления. Установлено сложное геологическое и гидрогеологическое строение зоны активного водообмена, обусловленное фациальной невыдержанностью горизонтов, высокой степенью раздробленности и трещиноватости пород. Уточнены границы распространения водоносных горизонтов, определены коэффициенты фильтрации. Установлены основные направления движения подземных вод, которые совпадают с участками повышенной трещиноватости и направлены от мест расположения угольных шахт в сторону населенных пунктов. Дана гидрохимическая характеристика, установлены гидрохимические аномалии. Составлены гидрогеологическая и гидрогеохимическая карты.

Ключевые слова: гидрогеология, гидрогеохимия, шахтные воды, подтопление инженерные изыскания, Партизанский угольный бассейн, Приморский край.

I.S. Kopylov¹, V.V. Oborin²

¹ Perm State University, georif@yandex.ru

² LLC «Zapuralgidrogeologiya», Perm

HYDROGEOLOGICAL CONDITIONS ON FLOODED AREAS OF COAL MINES AND VILLAGES OF PRIMORSKY REGION

The study of hydrogeological conditions in the flooded areas in the Partizansky coal basin of the Primorsky region has been carried out. The technogenic and natural-geological factors of flooding have been studied. A complex geological and hydrogeological structure of the zone of active water exchange was established, due to the facies unevenness of the horizons, a high degree of fragmentation and fracturing of rocks. The boundaries of the distribution of aquifers have been clarified, the filtration coefficients have been determined. The main directions of groundwater movement have been established, which coincide with areas of increased fracturing and are directed from the locations of coal mines towards settlements. A hydrochemical characteristic is given, hydrochemical anomalies are established. Hydrogeological and hydrogeochemical maps have been compiled.

Key words: hydrogeology, hydrogeochemistry, mine waters, flooding, engineering surveys, Partizansky coal basin, Primorsky region.

Введение

Проблема подтопления шахтными водами на территории Партизанского угольного бассейна в Приморском крае для ряда населенных пунктов на протяжении последних лет остается достаточно сложной. Для ее решения в соответствии с федеральной программой Министерства энергетики РФ

«Инженерные мероприятия по защите от подтопления зданий и сооружений, расположенных на горных отводах шахт» ОАО «Приморскуголь» (ДООАО «Шахтоуправление «Нагорное») в 2018-2019 гг. осуществлялось комплексное изучение экологических, гидрогеологических и инженерно-геологических условий. Некоторые результаты этих исследований изложены в работах [7,8,9].

Цель статьи – выполнить гидрогеологический анализ территории горных отводов и подтопляемых населенных пунктов, установить пути возможных перетоков шахтных вод и их влияние на формирование гидрохимических аномалий и определить возможности решения проблемы подтопления.

Методика и результаты исследований

Для решения проблемы оценки подтопления шахтными водами населенных пунктов в Партизанском городском округе были проведены комплексные инженерные изыскания в состав которых входили гидрогеологические исследования (Инженерные мероприятия..., 2019ф). 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.).

В состав работ входили маршрутные исследования, бурение скважин (пробурено 5 гидрогеологических скважин глубиной от 21 до 54 м; 17 инженерно-геологических скважин глубиной 4-12 м), опытные откачки из водоносных горизонтов в скважинах, полевые определения коэффициента фильтрации в скважинах, гидрогеохимическое опробование и анализы воды. Для выявления зон трещиноватости проводился специализированный аэрокосмогеологический анализ, по методикам, изложенным в работах [3,4,5,6,7]. Химический анализ воды проведен в аккредитованной лаборатории НПО «Геофизика» (г. Пермь). Также использованы фондовые данные мониторинга из отчетов Приморского центра экологического мониторинга по ликвидируемым шахтам и разрезам Приморского края за 2017-2018 гг.

Гидрогеологические условия

В гидрогеологическом отношении рассматриваемая территория (Партизанский каменноугольный бассейн, Мельниковский угленосный район, поля шахт «Углекаменская» и «Северная») относится к Сихотэ-Алиньскому бассейну трещинных вод и характеризуются распространением пластово-поровых грунтовых вод четвертичных отложений, трещинных грунтовых вод экзогенной трещиноватости меловых отложений и трещинно-жильных вод разрывных тектонических нарушений и интрузивных контактов [1].

Все выделенные водоносные комплексы из-за трещиноватости горных пород, большого количества тектонических нарушений и отсутствия, выдержанных водоупоров гидравлически связаны между собой и являются источниками обводнения горных выработок шахты. В результате затопления шахт сформировался техногенный водоносный комплекс.

Грунтовые воды аллювиального горизонта четвертичных отложений (aQ) распространены в долинах рек Б. Тигровая и Мельники. Водоносными

являются валунно-галечниковые грунты с различным содержанием песчано-глинистого материала, перекрытые сверху суглинками и супесями. Фильтрационные свойства водовмещающих пород зависят от литологического состава. Воды горизонта поровые, безнапорные, уровень подземных вод залегает на глубине от 0 до 1,0 -2,0 м. Удельные дебиты скважин при откачках оставляют 0,32-0,66 л/с, дебиты от 0,6 до 6,9 л/с при понижении 1,8-10,5 м. Коэффициенты фильтрации колеблются от 2,82 м/сут до 8,04 м/сут. Среднее значение коэффициента коэффициента уровнепроводности – $6,5 \cdot 10^3 \text{ м}^2/\text{сут}$. Мощность водоносного горизонта колеблется от 1 до 6 м, в течение года она меняется в зависимости от положения уровня грунтовых вод, абсолютные отметки которого колеблются от 105 до 130 м.

Питание водоносного горизонта осуществляется за счет инфильтрации атмосферных осадков и более глубоких водоносных горизонтов, расположенных гипсометрически выше. Разгрузка горизонта идет в реки в периоды низкого меженного уровня и на питание других водоносных горизонтов. Обладая значительными статическими запасами, которые постоянно восполняются поверхностными водами, водоносный горизонт является стабильным источником питания для нижележащих водоносных горизонтов.

По данным мониторинга воды аллювиального горизонта являются весьма пресными (минерализация 0,13-0,39 мг/дм³), преимущественно мягкими (жесткость 0,68-3,68 мг-экв/дм³), нейтральными (рН=6,04-7,93), по химическому составу гидрокарбонатными, реже хлоридно-гидрокарбонатными магниевыми-кальциевыми и натриево-магниевыми-кальциевыми.

Грунтовые воды трещинного водоносного комплекса (ТВК) меловых осадочных пород (K_{1sc}) распространены повсеместно в пределах зоны экзогенной трещиноватости. Мощность зоны составляет в среднем около 100 м. Вмещающие породы представлены туфогенными песчаниками, алевролитами и пластами угля. Статические уровни устанавливаются на глубинах от 0 (долины рек) до 41,9 м (на водоразделах). Годовая амплитуда колебаний уровня за период наблюдений по скважинам в долинах рек варьировала от 5 до 9 м. Коэффициент водопроницаемости пород изменяется от 4,2 до 7,4 м²/сут (в среднем – 3,4 м²/сут). Коэффициенты фильтрации для осадочных пород составляют 0,019 м/сут, в зонах дробления достигают 0,47 м/сут. Водообильность пород высокая – дебиты скважин изменяются от 40 до 90 м³/час. Питание ТВК инфильтрационное по всей площади, разгрузка осуществляется в реки и в поровый водоносный горизонт.

По данным мониторинга воды ТВК также являются весьма пресными (минерализация 0,2-0,5 г/дм³), очень мягкими или умеренно жесткими (жесткость от 0,75 до 4,48 мг-экв/дм³), нейтральными или слабощелочными (рН=5,98-8,03), по химическому составу гидрокарбонатными и хлоридно-гидрокарбонатно-кальциевыми, магниевыми-натриево-кальциевыми.

Трещинно-жильный водоносный комплекс разрывных тектонических нарушений и интрузивных контактов распространен спорадически ниже зоны дезинтеграции, где подземные воды встречаются лишь в дробленных зонах

разрывных нарушений и в жилах изверженных пород на контакте их с осадочными отложениями. Коэффициент водопроницаемости трещиноватых приконтактных зон достигает $50 \text{ м}^2/\text{сут.}$, в зонах дробления – до $100 \text{ м}^2/\text{сут.}$

Питание комплекса происходит за счет атмосферных осадков и вышележащих водоносных горизонтов, разгрузка – в горные выработки шахты и в виде родников на поверхности.

Результаты гидрогеологических и гидрогеохимических исследований 2018-2019 гг.

В 2018 г. были пробурены 3, а в 2019 г. – 2 гидрогеологические скважины глубиной от 21 до 54 м. Бурение скважин осуществлялось буровыми станками NIPPON SHARYO NB 60 и УРБ 2-А2, 2СБУ-100-30М. Скважины располагались: скв. №1 – юго-западнее ликвидированного вентиляционного ствола шахты №27, за границами рекультивированного породного отвала шахты; скв. №2 – на западной границе отработанного пространства шахты №33; скв. №3 – с. Углекаменск в районе ул. Свободы. В процессе бурения и лабораторных работ установлено, что на всех трех площадках залегают аллювиальные глины, предположительно среднечетвертичного возраста. Мощность глинистых отложений приблизительно одинакова на всех трех площадках и варьирует от 12,4 до 14 м. Цвет изменяется сверху вниз от светло – коричневых тонов до голубовато - серых, черных к концу интервала. В начале интервала зафиксирована дресва песчаников в незначительном количестве, сменяющаяся в темных разностях на мелкую гальку и блестящие угольные включения. Глина плотная, коэффициент пористости по результатам лабораторных определений составляет 0,69 д.е., показатель текучести $V=0,1$ д.е., что характеризует отложения как полутвердые. Уровень грунтовых вод находится на глубине от 2,5 до 9,2 м от поверхности земли на абсолютных отметках от +107,0 м до +131,2 м [2].

Скважина 1/1 была заложена рядом с местоположением бывшего угольного отвала. Бурением были вскрыты делювиально-солифлюкционные отложения верхнего плейстоцена представленные мягкопластичными суглинками, глинами с дресвой и щебнем осадочных горных пород с содержанием псефитовой фракции до 10-15%. Мощность горизонта составляет 6,6 м. Грунтовый водоносный горизонт вскрыт на глубине 4,5 м., на абс. отметке 118,5 м. В 80 м. от скважины – зона избыточного увлажнения – заболоченный борт руч. Родникового. Установившейся уровень ТВГ находится на глубине 14,5 м., на абс. отметке 108,5 м.

Скважиной 1/2 были вскрыты аллювиальные отложения, аналогичные вскрытых скважиной 1/1. Мощность горизонта 5,0 м., подошва слоя находится на абс. отметке 132,0 м. Установившейся уровень ТВГ находится на глубине 12,1 м., на абс. отметке 124,9 м.

Во всех скважинах проведена 12-часовая пробная откачка на одном понижении. По результатам наблюдения за восстановлением динамического уровня определен коэффициент фильтрации для водоносных пластов ТВГ,

который составил: по скважине №1 – 1,1м/сут.; по скважинам №2 и №3 – 3,5м/сут., по скважине 1/1 – 3,3 м/сут.; по скважине 1/2 – 1,2 м/сут.

Полевые исследования фильтрационных свойств показали, что распространенные глинистые грунты практически водонепроницаемые, что позволяет сделать вывод, что они являются хорошим экраном для проникновения инфильтрационных осадков и могут создавать условия для возникновения местного напора.

С целью определения степени подтопления выполнено визуальное обследование домов и подтапливаемой территории в селах Углекаменск и Казанка. В процессе рекогносцировки проводился осмотр зданий на предмет трещин, обрушений конструкций, наличия воды в подвалах, погребах, водопроводных колодцах, проводился опрос жителей домов по поводу проблемы подтопления. При обследовании были пройдены маршруты в западной части поселка вдоль улиц Шахтеров, Свободы, Горняцкая, Целинная, Дубовая, Арсеньева, Советская.

По материалам аэрокосмогеологических и геофизических исследований установлены геоактивные зоны с повышенной трещиноватостью, связанные с региональным Партизанским разломом [7]. Основные направления движения подземных вод совпадают с участками повышенной трещиноватости. Основной поток подземных вод направлен на юго-восток в сторону р. Мельники. По данным карты гидроизогипс уклон потока составляет 0,4. Составлены гидрогеологическая и гидрогеохимическая карты (рис. 1, 2).

Анализ техногенеза подземных вод

Водоотлив шахты «Углекаменская» был остановлен 23.06.1998 г. Уровни затопления шахты «Углекаменская» (участки «Шахта №26» и «Медведевский») проектных отметок не достигли. Стабилизация гидродинамического режима наступила к июлю 2000 года с началом излива шахтных вод через группу технологических скважин №18-1250 на участке «Старая насосная», абс. отметка +112,0 м (излив происходит из 5 точек). Продолжительность периода затопления составила 2 года 8 месяцев.

До апреля 2005 года наблюдения за уровнем затопления выполнялись по скважине «Желтые пески», расположенной на левой надпойменной террасе р. Тигровая. В связи с полной гидродинамической стабилизацией (уровень затопления установился на абсолютной отметке +112,0÷+113,0м) в настоящее время наблюдения по данному пункту не ведутся. Скважина «Желтые пески» находится в законсервированном состоянии. Сосредоточенный выход шахтовых вод через группу технологических скважин №18-1250 на отметке +112,0м происходит с их последующим сбросом без очистки в протоку р. Тигровая. Дебит скважин изменялся от 25 до 120м³/час. Помимо этого, встречаются места рассредоточенного выхода шахтных вод на дневную поверхность.

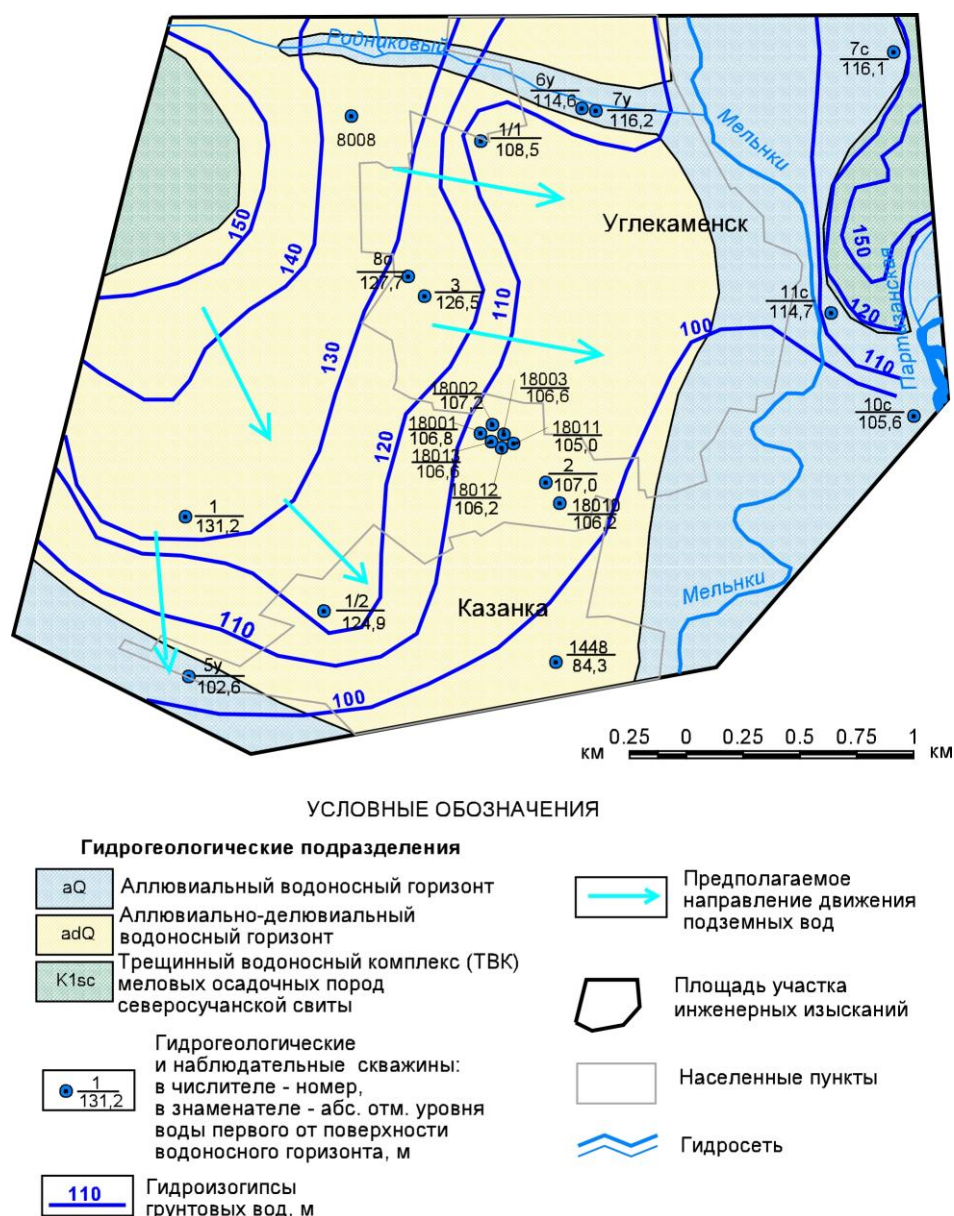
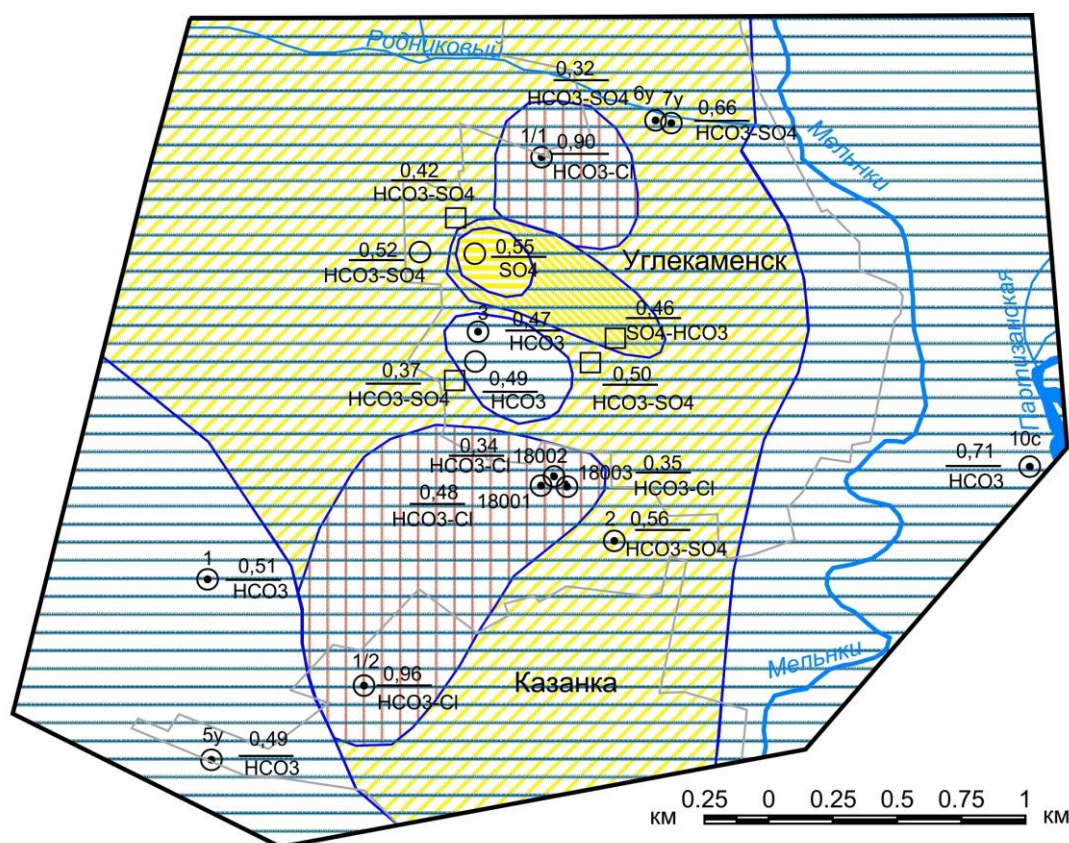


Рис. 1. Гидрогеологическая карта района

Самоизлив шахтовых вод в границах бывшей шахты №25 происходит через устье штольни №25 с абсолютной отметкой +117,0 м с их последующим сбросом без очистки в р. Мельники.

В результате затопления шахт на территории Мельниковского района в пределах горных отводов шахт «Авангард», «Углекаменская» и «Северная» воды аллювиального горизонта и грунтовые воды ТВК имеют признаки загрязнения. На участках распространения шахтных отработок отмечается смешение комплекса природных вод с техногенными водами.

В районе шахты «Северная» выход вод техногенного комплекса на дневную поверхность наблюдается на промплощадке штольни № 25 в склоновой части долины реки Мельники на восточной окраине с. Углекаменск.



УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

Водоупункты с изученным химическим составом воды

- Гидрогеологические и наблюдательные скважины
- Водозаборные скважины
- Колодцы

Гидрогеологические и наблюдательные скважины:
с верху (с боку) - номер, в числителе - минерализация грунтовых вод, г/дм³, в знаменателе - химический состав по преобладающим анионам

1 0.51
НСОЗ

Химический тип воды в водопунктах

- гидрокарбонатный ($\text{НСО}_3 > 50\%$ -экв; $\text{СL}, \text{SO}_4, \text{NO}_3 < 20\%$ -экв.)
- хлоридно-гидрокарбонатный ($\text{НСО}_3 > \text{СL} > 20\%$ -экв SO_4, NO_3)
- сульфатно-гидрокарбонатный ($\text{НСО}_3 > \text{SO}_4 > 20\%$ -экв $\text{СL}, \text{NO}_3$)
- гидрокарбонатно-сульфатный ($\text{SO}_4 > \text{НСО}_3 > 20\%$ -экв $\text{СL}, \text{NO}_3$)
- сульфатный ($\text{SO}_4 > 50\%$ -экв; $\text{НСО}_3, \text{СL}, \text{NO}_3 < 20\%$ -экв.)



Площадь участка инженерных изысканий



Населенные пункты



Гидросеть

Рис. 2. Гидрогеохимическая карта района

Изливающиеся воды по химическому составу гидрокарбонатные натриевые, по степени минерализации солоноватые (минерализация 1,6-1,8 г/дм³), по водородному показателю нейтральные или щелочные (рН= 7,9-8,68), жесткость воды достигает 2,55 мг-экв/дм³, а содержание гидрокарбонатов 1055,3-1272,79 мг/дм³, натрия- 389,6-440,0 мг/дм³. Формируются гидрокарбонатные натриевые воды.

Выход техногенных вод подземного комплекса шахты «Углекаменская» происходит через стволы группы скважин с глубины 200 м в районе участка «Старая насосная». Подземные воды техногенного комплекса здесь являются солоноватыми, минерализация достигает 8532,44 мг/дм³, в природных водах

происходит накопление Na^+ , HCO_3^- , SO_4^{2-} и увеличение жесткости от 3,50 до 17,26 мг-экв/дм³.

В процессе изысканий было установлено, что в настоящее время на шахте «Углекаменская» имеется один излив шахтных вод (излив №18-1250 «Старая насосная»). На момент проведения изысканий, в виду засушливого периода, общий дебит изливающихся скважин составлял около 25 м³/час. Показатели качества воды излива №18-1250 «Старая насосная» превышают ПДК по всем исследуемым показателям за исключением аммиака и хлоридов. Наиболее показательными являются магний (в 2 раза превышены ПДК), сульфаты (в 1,9 раза превышены ПДК), сухой остаток (в 2,9 раза превышены ПДК), гидрокарбонаты (в 1,7 раза превышены ПДК), натрий (в 3,9 раза превышены ПДК), железо (в 19,3 раза превышены ПДК).

По результатам анализов проб из 4-х водозаборных скважин в с. Углекаменск установлено, что ПДК по содержанию магния и кальция превышено практически во всех пробах из скважин, за исключением скважины по ул. Горняцкая, 17. Также превышены ПДК по железу в скважинах по ул. Свободы, 10а и ул. Целинная, 12б, что, вероятнее всего, связано с природными факторами. По всем остальным показателям воды водозаборных скважин имеют значения в пределах ПДК. В водозаборной скважине по ул. Горняцкая, 17 показатели сульфатов достигают значений 110 мг/л (0,22 ПДК), что, свидетельствует о возможном влиянии шахтных вод на водоносный горизонт. Пониженное относительно других скважин значение pH, гидрокарбонат-ионов и ионов кальция свидетельствует о смещении ионного равновесия в сторону большего содержания H_2CO_3 , что связано с геологическими особенностями эксплуатируемого водоносного горизонта. Аналогичная ситуация водозаборной скважиной по ул. Шахтеров, 19/1, где достаточно повышенные показатели по содержанию гидрокарбонатов, что также свидетельствует о влиянии шахтных вод на водоносный горизонт.

По результатам анализов проб из колодцев установлены повышенные концентрации гидрокарбонатов (в 2,1 раза) и натрия (1,6 раза) в колодце по ул. Арсеньева, 7 в сравнении с колодцами по ул. Свободы, д. 10 и д. 33, что, указывает на незначительное влияние шахтных вод. Проба, отобранная из подвала жилого дома по ул. Советская, 27, имеет наивысшие показатели по сульфатам, что также свидетельствует о наличии влияния шахтных вод [2].

В целом, выполненные гидрогеологические изыскания а также анализ ретроспективных гидрогеохимических данных последних лет по водозаборным скважинам и колодцам на территории поселков, показали относительно небольшое гидрохимическое загрязнение грунтовых вод и верхних водоносных горизонтов (ТВГ) шахтными водами, особенно – по сульфатам и микрокомпонентам.

Выводы

В результате комплексных изысканий установлено сложное геологическое и гидрогеологическое 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.

В соответствии с п. 3.9 СП 104.13330.2016 «Инженерная защита территории от затопления и подтопления» территории н.п. Углекаменск и Казанка классифицируются как подзона умеренного подтопления, в которой повышение уровня грунтовых вод и влажности грунтов приводит к нарушениям ведения хозяйственной деятельности и условий проживания на данной территории (п.3.10, п.4.1.1. СП 104.13330.2016).

В результате проведенных гидрогеологических работ были уточнены границы распространения водоносных горизонтов, рисунок гидроизогипс подземных вод; определены коэффициенты фильтрации ТВГ. Показаны основные направления движения подземных вод (совпадающие с участками геоактивных зон с повышенной трещиноватостью), которые показывают, что их вектор направлен от мест расположения угольных шахт в сторону населенных пунктов; дана гидрохимическая характеристика, установлены гидрохимические аномалии. Проведенные гидрогеологические и гидрохимические исследования подтверждают влияние затопленной шахты «Углекаменская» на состояние водоносного горизонта и подтопление территории с. Углекаменск. Оценка шахтного техногенного влияния на подтопление территории с. Казанка требует дополнительного изучения.

Библиографический список

1. *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.*
2. *Инженерные мероприятия по защите от подтопления зданий и сооружений, расположенных на горных отводах шахт ОАО «Приморскуголь» (ДОО «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.*
3. *Копылов И.С. Гидрогеологическая роль геодинамических активных зон // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2014. № 9-3. С. 86-90.*
4. *Копылов И.С. Морфонеотектоническая система оценки геодинамической активности. Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2019. 131 с.*
5. *Копылов И.С. Основные фундаментальные и прикладные направления в изучении геодинамических активных зон // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2015. № 8-1. С. 82-86.*
6. *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.*
7. *Копылов И.С. Результаты аэрокосмогеологических исследований в Приморском крае для проведения инженерных мероприятий по защите от подтопления зданий и сооружений*

на горных отводах шахт» ОАО «Приморскуголь» // В сборнике: Аэрокосмические методы в геологии. Пермь, 2020. С. 265-273.

8. *Копылов И.С., Оборин В.В.* Инженерно-геоморфологические условия на подтопляемых территориях Приморского края в Партизанском угольном бассейне // Геология и полезные ископаемые Западного Урала. 2020. № 3 (40). С. 281-291.

9. *Оборин В.В., Копылов И.С.* О проблеме подтопления шахтными водами населенных пунктов угледобывающих территорий в Приморском крае: факторы, причины, пути решения // В сборнике: Геоэкология, инженерная геодинамика, геологическая безопасность. Печеркинские чтения. Пермь, 2020. С. 127-136.

10. *СП 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. *Копылов И.С.* Линеаментно-блоковое строение и геодинамические активные зоны Среднего Урала // Вестник Пермского университета. Геология. 2011. № 3. С. 18-32.

14. *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.

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ВЫВЕТРИВАНИЯ САРМАТСКИХ ГЛИН

Проанализированы результаты лабораторных и натурных экспериментов по выветриванию сарматских глин в условиях умеренного климата Северного Причерноморья. Выявлена роль физического выветривания, основными процессами которого являются: набухание – усадка и замораживание – оттаивание грунта. Установлено, что более термодинамически устойчивыми к внешним воздействиям являются засоленные сарматские глины.

Ключевые слова: сарматские глины, физическое выветривание, набухание – усадка, замораживание – оттаивание.

¹Yu. I. Olyansky, ¹E. V. Schekochikhina, T.Yu. Khludeneva,
¹Volgograd State Technical University, Volgograd, olyansk@list.ru.
Perm State University, granit@psu.ru

ENGINEERING AND GEOLOGICAL ASPECTS OF WEATHERING OF SARMATIAN CLAYS

The results of laboratory and field experiments on the weathering of Sarmatian clays in the temperate climate of the Northern Black Sea region are analyzed. The role of physical weathering is revealed, the main processes of which are swelling - shrinkage and freezing - thawing of the soil. It was found that non-saline Sarmatian clays are more thermodynamically resistant to external influences.

Key words: Sarmatian clays, physical weathering, swelling - shrinkage, freezing - thawing.

Сарматские глины широко распространены на юге Русской плиты, где они перекрываются другими отложениями, либо выходят непосредственно на дневную поверхность, подвергаясь активному выветриванию под действием физических и химических факторов (агентов) выветривания. В результате изменяются их физико-механические свойства, уменьшается прочность, что ведёт к возникновению различных инженерно-геологических процессов: оползней, оврагов, обвалов, размывов и др. При крупномасштабном строительстве, при разработке полезных ископаемых открытым способом, устройстве дорожных выемок и т.д., возникает необходимость решения следующих задач: установление мощности зоны съёма выветренных пород и глубины заложения фундаментов; крутизны и конструкции откосов дорожных выемок, строительных котлованов и карьеров; прогноз инженерно-геологических процессов и явлений, приуроченных к склонам; разработка мероприятий по защите горных пород от воздействия различных агентов выветривания.

В разные годы изучением проблемы выветривания горных пород занимались Е. М. Сергеев, И.В. Попов, С.В. Воронкевич, Г.С. Золотарёв, Н.В. Коломенский, В.И. Осипов, Л.Д. Ломтадзе, З.А. Макеев. В инженерной геологии при подразделении коры выветривания в условиях умеренного климата на зоны, наиболее распространена схема Н.В. Коломенского, дополненная разными исследователями: Г.С. Золотарёвым, З.А. Макеевым, В.В. Швецом и др. Степень выветренности пород ряд авторов предлагал оценивать при помощи различных показателей (А. Хемрол, С.Д. Воронкевич, В.Б. Швец, Г.С. Золотарёв, Л.А. Ярг). Методика определения скорости выветривания рассмотрена в работах Е.М. Сергеева, Н.В. Коломенского, Г.С. Золотарёва. Влияние процесса промерзания и оттаивания на изменение свойств глин при выветривании изучалось Е.М. Сергеевым, А.В. Минервиным, Е.Д. Ершовым, С.С. Морозовым и др. авторами.

Экспериментальные исследования выполнялись на территории Центрально-Молдавской возвышенности в г. Кишинёве. Изучались верхне - и среднесарматские глины, залегающие в этом регионе на небольшой глубине, либо обнажающиеся на дневной поверхности [6,7,9]. Климат региона умеренно-континентальный, территория относится к зоне недостаточного увлажнения. Среднегодовая температура воздуха составляет 9,4°C, поверхности почвы – 10 – 12°C. Безморозный период длится в среднем 185 дней. Самый холодный месяц – январь со средней температурой 3 – 5° мороза. Лето сухое и жаркое. Самый сухой месяц – июль со среднемесячной температурой 19-22°C. Среднегодовое количество осадков – 533 мм, испаряемость 665 мм, коэффициент увлажнения – 1,1 [8].

Исследования выполнялись в лабораторных условиях и в натурных – полевых условиях. В лаборатории изучались физико-механические свойства образцов глин, подвергающихся агентам выветривания – температуре и химически активной воды. В природных условиях на опытном полигоне моделировалось выветривание образцов глин на протяжении 2 лет [1,2,3,4,5].

Важнейшим фактором выветривания является вода, которая в виде дождей или при таянии снега воздействует на поверхность глинистых пород, в данном случае – сарматские глины. С целью прогнозирования изменения свойств глин при физическом выветривании необходимо изучить поведение глин в условиях циклического набухания – усадки и переменного увлажнения – высушивания. Влияние этого процесса на изменение состава и свойств глин в большинстве случаев более значительно, чем процесса замораживания – оттаивания.

Изучалось поведение сарматских глин в условиях набухания – усадки [1]. Основные выводы заключаются в следующем. У сарматских глин со смешанным типом структурных связей (по В.И. Осипову) максимальное значение величины свободного набухания зафиксировано после третьего цикла и составляет в среднем 0,56. Затем происходит снижение данного показателя до значения 0,45 (среднее) и стабилизация на этом уровне в конце последующих экспериментальных циклов увлажнения – высушивания. У сарматских глин со значительным влиянием контактов фазового типа (по В.И. Осипову),

максимальное значение величины свободного набухания приурочено к первому циклу и составляет 0,63 (среднее). Далее это значение уменьшается до 0,43 и происходит стабилизация на 7-8 циклах. В процессе набухания – усадки влажность набухания стремится к своему постоянному значению, которое не зависит от исходной структуры грунта. Её величина несколько больше значения влажности на границе текучести за счёт свободной и рыхло - связанной воды из образовавшихся в процессе эксперимента трещин в грунте. Стабилизация влажности набухания происходит на 4-5 циклах.

С целью установления влияния различного режима температур на изменение свойств глин при циклическом набухании – усадке одну серию образцов глин замораживали в набухшем состоянии при температуре - 10°C, затем проводилась их усадка. Другую серию образцов после каждого набухания подвергали воздействию температуры +70°C, что соответствует природным условиям территории г. Кишенёва. В результате анализа результатов экспериментов установлено, что повышение температуры до +70°C не ведёт к увеличению значений максимального набухания в процессе циклического увлажнения – высушивания. Замораживание образцов глин в водонасыщенном состоянии увеличивает значение величины свободного набухания, что находит своё объяснение в дополнительном разрушении структурных связей в грунтах под воздействием отрицательных температур. Чем больше гидрофильность образцов глин, тем существеннее влияние замораживания на величину свободного набухания.

Изменения влажности на границе текучести при циклическом набухании – усадке не происходит. Её значение для сарматских глин составляет в среднем 0,49-0,58. В связи с этим, можно сделать вывод, что хотя основным процессом разрушения структуры грунта при физическом выветривании является набухание – усадка, в условиях указанного климата следует учитывать и воздействие отрицательных зимних температур.

Экспериментальные исследования выполнялись в натурных условиях [1]. На опытном полигоне были оборудованы два опытных участка, представляющие собой горизонтальные выемки размером 1,0 × 1,0 глубиной 0,5 м, в которые плотно укладывались образцы грунта ненарушенного сложения (монолиты) размером 20×20×30 см. Образцы были отобраны в карьере Кишинёвского кирпичного завода и представляли собой зеленовато-серые и чёрные глины без признаков выветривания. Образцы грунта засыпались почвенным слоем толщиной 20 см. Эксперимент продолжался в течение 2 лет. Через определённые промежутки времени образцы грунта извлекались. Визуально выделялись зоны выветривания, проводилось их макроописание, фотографирование, лабораторные исследования состава и свойств. Зоны выветривания определялись по схеме Н.В. Коломенского (1952): I – глыбовая, II – крупнообломочная, III – мелкообломочная, IV – тонкого дробления. Характеристика степени выветривания проводилась с помощью показателя, предложенного Г.С. Золотарёвым (1971), который рассчитывался для группы

свойств. Для физических свойств это коэффициент пористости, набухающих свойств – влажность набухания, прочности – сопротивление пенетрации грунта естественного сложения.

В табл. 1 приведены данные по измерению некоторых показателей химического состава сарматских глин при выветривании в современных условиях для двух серий образцов – засоленных (средний сармат) и незасоленных (верхний сармат). И для первых и для вторых характерно повышение содержания водорастворимых солей, общей карбонатности, гипса и ёмкости поглощения. При этом коэффициент агрегированности дисперсной фракции уменьшается примерно в 5 и 2 раза для первой и второй серии образцов глин соответственно.

Таблица 1. Изменение некоторых показателей химического состава сарматских глин при выветривании в современных условиях

Показатель		Средний сармат			Верхний сармат		
		Исходное состояние	Время выветривания (сутки)		Исходное состояние	Время выветривания (сутки)	
			360	542		306	511
Сухой остаток, г/л		0,38	0,75	1,12	0,15	0,19	0,20
Катионы, %	Na^+	0,016	0,008	0,006	0,019	0,016	0,008
	K^+	0,016	0,014	0,014	0,008	0,007	0,006
	Ca^{2+}	0,047	0,121	0,203	0,025	0,030	0,031
	Mg^{2+}	0,027	0,053	0,072	0,012	0,006	0,010
Анионы, %	Cl^-	0,011	0,011	0,008	0,008	0,012	0,010
	SO_4^{2-}	0,247	0,497	0,782	0,046	0,051	0,058
	HCO_3^-	0,031	0,047	0,036	0,047	0,043	0,046
Карбонаты, %		8,90	11,06	15,06	11,71	15,25	25,57
Гипс, %		0,07	0,92	1,90	0,01	0,10	1,09
FeO , %		0,931	0,904	0,765	0,689	0,556	0,750
Fe_2O_3 , %		0,498	0,618	1,004	0,536	0,502	0,918
$K=Fe_2O_3/FeO$		0,536	0,684	1,313	0,778	0,903	1,220
Ёмкость поглощения*		14,37	18,39	19,98	19,53	24,48	26,53
Коэффициент агрег. Ka		15,45	6,21	2,83	3,48	1,25	1,53

* – мг – экв/ 100 г сух. пор.

В табл. 2 приведены данные по выщелачиванию сарматских глин содержащих пирит в лабораторных условиях дистиллированной водой. Содержание водорастворимых солей при этом уменьшается, общая карбонатность и содержание гипса – увеличиваются. Коэффициент агрегированности дисперсной фракции повышается.

Таблица 2. Изменение показателей состава и свойств незасолённых сарматских глин при диффузионном выщелачивании в лабораторных условиях

Наименование		До выщелачивания	После выщелачивания
Минерализация (по сухому остатку), г/100г сух. пор.		0,19	0,11
Катионы, г/100г сух. пор.	$K^{+} + Na^{+}$	0,029	0,014
	Ca^{+2}	0,016	0,015
	Mg^{+2}	0,008	0,006
Анионы, г/100г сух. пор.	Cl^{-}	0,010	0,006
	SO_4^{-2}	0,090	0,028
	HCO_3^{-}	0,056	0,065
Содержание гипса, %		0,13	0,41
Карбонатность, %		14,11	15,60
Плотность, г/см ³		1,94	1,68
Пористость, %		45,2	58,4
Природная влажность,		0,31	0,52
Влажность предела текучести,		0,58	0,58
Свободное набухание, ε_{sw}		0,13	0,12
Срезающее усилие, $\tau_{0,1} \times 10^5$ Па		1,29	0,66

Такое различие в показателях можно объяснить различными воздействиями воды на испытываемые образцы. В первом случае (природные условия) дождевая или талая вода фильтруется через слой почвенного грунта и обогащается гуминовыми кислотами, повышая свою агрессивность к солевому составу глин. Во втором случае выщелачивание осуществлялось дистиллированной водой. Кроме того, в природных условиях эксперимент длился в среднем 15 месяцев, а в лабораторных – 3-4 месяца.

В табл. 3 приведены данные по изменению показателей физико-механических свойств глин по зонам выветривания для засоленных и незасоленных групп образцов. Установлено, что незасоленные глины верхнего сармата более подвержены воздействию агентов выветривания, чем засоленные глины среднего сармата. В выветренном состоянии первые менее плотные, более пористые и влажные, а так же менее прочные, чем вторые.

Таблица 3. Изменение некоторых показателей физико-механических свойств сарматских глин по зонам выветривания

Зона выветривания	Средний сармат			Верхний сармат		
	II	III	IV	II	II	IV
Кол. определ.	18	30	29	26	22	13
Плотность, г/м ³	1,99 (0,02)	1,88 (0,10)	1,72 (0,12)	1,97 (0,05)	1,90 (0,08)	1,79 (0,09)
Пористость, n %	42,6 (0,84)	46,5 (3,43)	50,3 (4,79)	42,2 (2,12)	44,3 (3,58)	47,7 (4,20)
Природ. влажн.	0,27 (0,02)	0,28 (0,04)	0,27 (0,09)	0,25 (0,03)	0,25 (0,05)	0,26 (0,06)
Влажность	0,50 (0,05)	0,50 (0,03)	0,50 (0,04)	0,50 (0,08)	0,48 (0,10)	0,49 (0,08)
Степень влажн.	0,98 (0,03)	0,88 (0,10)	0,71 (0,20)	0,93 (0,07)	0,86 (0,10)	0,76 (0,13)
Свободное набухание	0,03 (0,02)	0,06 (0,06)	0,08 (0,09)	0,04 (0,05)	0,04 (0,05)	0,05 (0,04)
Влажность набухания	0,30 (0,02)	0,36 (0,04)	0,42 (0,04)	0,29 (0,03)	0,32 (0,05)	0,40 (0,10)
Объёмная усадка	0,11 (0,03)	0,12 (0,08)	0,13 (0,08)	0,11 (0,05)	0,13 (0,0)	0,16 (0,09)
Набух. после усадки	0,39 (0,10)	0,37 (0,10)	0,29 (0,11)	0,43 (0,11)	0,35 (0,12)	0,28 (0,09)
Сопр. пен. ест. сост. $P_m \times 10^5$ Па	3,72 (1,02)	2,42 (1,61)	1,06 (0,81)	5,98 (1,98)	3,86 (3,01)	1,48 (0,54)
Сопр.пен. наб. сост. $P_m \times 10^5$ Па	1,51 (0,9)	0,6 (0,58)	0,17 (0,05)	1,27 (1,01)	0,82 (0,85)	0,29 (0,22)
Сопр. пен. ус.-наб. $P_m \times 10^5$ Па	0,13 (0,04)	0,10 (0,04)	0,09 (0,03)	0,14 (0,04)	0,12 (0,04)	0,10 (0,01)
Коэфф. разупрочн. ест.	3,67 (2,94)	6,24 (5,80)	6,52 (5,49)	7,75 (6,72)	7,95 (8,07)	6,67 (3,60)
Коэфф. разупрочн. наб.	12,2 (3,0)	5,66 (3,77)	2,19 (0,95)	9,5 (6,42)	8,2 (10,67)	3,01 (2,52)
Сопротив. срезу, $\tau_{0,1}$	1,30 (0,28)	0,96 (0,40)	0,50 (0,14)	2,10 (0,45)	1,86 (0,65)	0,98 (0,32)

Примечание: 1. – В первой строке среднее значение; в скобках – стандартные отклонения. 2. $\tau_{0,1}$ – сопротивление срезу при вертикальной нагрузке 0.1 МПа;

Выводы

1. Основным процессом физического выветривания сарматских глин в условиях Центрально-Молдавской возвышенности является набухание – усадка. Влияние отрицательных температур, вызывающее промораживание и оттаивание, существенно интенсифицирует процесс разрушения породы при выветривании. Это отмечается не только на макро - и мезоуровне при формировании трещин, но и на микроуровне, что подтверждается увеличением

максимального набухания во время проведения опытов по циклическому увлажнению и высушиванию в различном режиме температур.

2. Более термодинамически устойчивыми к внешним воздействиям являются засоленные глины среднего сармата, что объясняется типом их структурных связей, обусловленном генезисом. В общем случае глинистые отложения с более прочными контактами между структурными элементами выветриваются с меньшей интенсивностью.

3. Продукты геохимического преобразования глин зависят от исходного состава породы и имеют одинаковую направленность для изучаемых отложений. Основными процессами, протекающими при проведении эксперимента, являются окисление, карбокатизация, засоление и накопление гипса. Для механического состава отмечено снижение коэффициента агрегированности дисперсной фракции, что находит своё объяснение разрушением пылеватых микроагрегатов в процессе выветривания.

Библиографический список

1. *Богдевич О.П.* Исследование закономерностей изменения физико-механических свойств глин в процессе выветривания (на примере Молдовы). Автореферат дисс. канд. геол.-мин. наук. Москва, 1992. 25 с.

2. *Богомолов А.Н., Олянский Ю.И., Щекочихина Е.В.* Прогноз прочности сарматских глин при длительном обводнении // Основания, фундаменты и механика грунтов. 2018. №2. С. 19-24.

3. *Богомолов А.Н., Олянский Ю.И.* Инженерно-геологические аспекты взаимодействия глинистых пород с водой при техногенезе (на примере сарматских глин и лёссовых пород) // Министерство образования Российской Федерации; Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет. Волгоград, 2016. 357 с.

4. Закономерности изменения состава и свойств глинистых пород при длительном взаимодействии с водой в основаниях инженерных сооружений / *Ю.И. Олянский, Е.В. Щекочихина, С.А. Чарыкова, и др.* // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2017. № 50 (69). С. 7-15.

5. Оценка устойчивости сарматских глин к длительному обводнению на основе результатов лабораторных исследований / *Ю.И. Олянский, Е.В. Щекочихина, С.А. Калиновский, и др.* // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2018. № 54 (73). С. 32-42.

6. *Олянский Ю.И., Щекочихина Е.В., Калиновский С.А.* / Инженерно-геологические проблемы освоения территорий распространения дисперсных грунтов в сейсмоактивных районах // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2020. № 1 (78). С. 30-37.

7. *Олянский Ю.И., Щекочихина Е.В., Мозгунов М.Д., Адзиев С.М.* Инженерно-геологическая оценка вещественного состава и физико-механических свойств сарматских глин // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2017. № 48 (67). С. 38-47.

8. *Олянский Ю.И., Богомолов А.Н., Тихонова Т.М.* Сарматские глины. Состав, физико-механические свойства, типизация по устойчивости к обводнению // Saarbrücken, 2013. 230 с.

9. *Реологические свойства сарматских глин с нарушенной структурой / Ю.И. Олянский, Е.В. Щекочихина, С.А. Калиновский, и др..* // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2019. № 2 (75). С. 11-19.

10. Середин В.В., Медведева Н.А., Анюхина А.В., Андрианов А.В. Закономерности изменения содержания связанной воды в каолинитовой глине при ее сжатии высокими давлениями // Вестник Пермского университета. Геология. 2018. Т. 17. № 4. С. 359-369.

11. Середин В.В., Паришина Т.Ю., Исаева Г.А. К вопросу об оценке энергетического потенциала глинистых частиц // Вестник Пермского университета. Геология. 2017. Т. 16. № 4. С. 370-381.

ДОННЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ И ИХ РОЛЬ В ФОРМИРОВАНИИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ВОДОЕМОВ

Приводятся результаты исследования донных отложений р. Толыч (г. Березники, Пермский край) с целью оценки уровня накопления в них микроэлементов в условиях разрешенного сброса сточных вод действующих предприятий. Валовое содержание 28 микроэлементов в одновременно отобранных пробах донных отложений и речной воды определяли масс-спектральным методом на приборе Bruker Aurora M90 ICP-MS. Расчеты коэффициента донной аккумуляции в устьевой части р. Толыч, (Камское водохранилище) демонстрируют его повышенные значения для Pb, Zn, W, Ba, Cu, Sn, V.

Ключевые слова: донные отложения, микроэлементы, коэффициент донной аккумуляции, Камское водохранилище

E.S. Ushakova, E.A. Menshikova,
Institute of Natural Sciences of Perm State University, ecogeopsu@mail.ru

BOTTOM SEDIMENTS AND THEIR ROLE IN FORMATION THE ECOLOGICAL CONDITION

The results of the study of bottom sediments of the Tolych River (Berezniki, Perm region) to assess the level of accumulation of trace elements in them in conditions of the permitted discharges of waste water of existing enterprises are presented. Gross content of 28 trace elements in simultaneously taken samples of bottom sediments and river water was determined by mass-spectral method on a Bruker Aurora M90 ICP-MS instrument. Calculations of the bottom accumulation factor in the estuary of the Tolych River (Kama reservoir) show its elevated values for Pb, Zn, W, Ba, Cu, Sn, V.

Key words: bottom sediments, trace elements, bottom accumulation coefficient, Kama reservoir

Введение

Одним из наиболее проблемных водных объектов в Пермском крае является р. Толыч, воды которого впадают в Камское водохранилище. Эксплуатация исследуемой акватории составляет более 90 лет. Ресурсы водотока используются в теплоэнергетики, химической и металлургической отрасли, в том числе и для сброса сточных вод. Длительное поступление загрязняющих веществ оказывает неизбежное негативное воздействие на качество природных вод, приводит к накоплению в донных отложениях (ДО) широкого спектра соединений, в том числе опасных тяжелых металлов.

ДО являются индикатором первичного и источником вторичного загрязнения речных вод [3]. Продолжительность накопления тяжелых металлов в ДО

исследуют методами изотопного анализа. Такие исследования проведены для бассейнов р. Темзы, р. Нене (Англия) [9, 10]. Геохимическая специфика загрязнения ДО различна. Например, для водотоков г. Санкт-Петербурга основной вклад в загрязнение ДО вносят Ni, Zn, Cu, Cr, Mn, Cd [6], р. Черной на территории г. Соликамска – Ag, Sr, Ni, Co, Mn, Mo, Se, V, Li [4].

По данным ежегодного экологического доклада за 2018 г. в районе г. Березники воды Камского водохранилища характеризуются превышениями нормативов по следующим элементам: Mn – 7-9 ПДК, Fe_{общ.} – 9-11 ПДК, Cu-2-3 ПДК, трудноокисляемым органическим веществам (по ХПК) – 3 ПДК. Воды в створе в черте г. Березники соответствует 3 классу качества, разряд «Б» – вода «очень загрязненная» [2]. При этом помимо техногенного привноса Fe_{общ.} и Mn, для территории Пермского края для этих элементов характерен повышенный природный фон, обусловленный геологическим строением, почвенно-геохимическими и климатическими особенностями, широким развитием в долинах рек заболоченных территорий [1].

Цель настоящего исследования – оценка уровня накопления микроэлементов в ДО в бассейне р. Толыч в условиях разрешенного сброса сточных вод действующих предприятий.

Объект и методы исследования

Отбор проб ДО и речных вод в бассейне р. Толыч произведен в летний межень период (конец августа) 2018 г. Пункты опробования расположены от верховья и к устью в пределах исследуемого бассейна. Река Толыч протекает по территории промышленной зоны г. Березники, где также расположены шламохранилище, технологические автомобильные и железные дороги, трубопроводы и впадает в Камское водохранилище (рис. 1).

Река формируется за счет слияния р. Толыч и р. Затолыч в северной части г. Березники, на этом участке расположена промышленная территория филиала ПАО «Корпорация ВСМПО-АВИСМА», ТЭЦ-2, а также ООО «Промстоки». В устьевой части располагается АО «Березниковский содовый завод».

Согласно официальной информации Камского БВУ последние десять лет в акватории р. Толыч осуществляется совместное водопользование с забором (изъятием) водных ресурсов из водных объектов при условии возврата воды в водные объекты следующими водопользователями: «АВИСМА» филиал ПАО «Корпорация ВСМПО-АВИСМА», филиал «Пермский» ПАО «Т Плюс» Березниковская ТЭЦ-2, АО «Березниковский содовый завод».



Рис. Карта-схема расположения точек отбора проб в районе исследования

Лабораторные исследования проб ДО и воды проводились на базе сектора наноминералогии «Центра коллективного пользования Пермского государственного национального исследовательского университета». Валовое содержание Li, V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Rb, Sr, Mo, Cd, Sn, Ba, W, Pb пробах донных отложений определяли масс-спектральным методом на приборе BRUKER AURORA M90 ICP-MS.

Оценка состояния ДО выполнена на основании коэффициента донной аккумуляции, рекомендованного методическими указаниями в рамках мониторинга водных объектов, и суммарного показателя загрязнения Z_c ДО [5, 8].

Коэффициент донной аккумуляции (далее – КДА), демонстрирующий степень накопления элементов в ДО, определялся по формуле:

$$КДА = C_{до} / C_{вода},$$

где $C_{до}$ – концентрация загрязняющего вещества в ДО, мг/кг; $C_{вода}$ – концентрация этого вещества в воде, отобранной одновременно в этом же створе, мг/л.

Для количественной оценки степени техногенного загрязнения ДО использована ориентировочная шкала уровня техногенного загрязнения на основании суммарного показателя загрязнения Z_c . Авторами дополнена градация уровня загрязнения, предложенная в рамках методических указаний [5], детализированием более высоких уровней загрязнения по КДА (очень высокий и чрезвычайно высокий уровень хронического загрязнения) (табл. 1).

Таблица 1. Характеристика уровня загрязнения донных отложений

КДА		Z _c	
Градация значений	Уровень хронического загрязнения	Градация значений	Уровень техногенного загрязнения
n·10	Без признаков	< 10	Слабый
n·10 – n·10 ²	Средний	10 – 30	Средний
n·10 ³ – n·10 ⁴	Высокий	30 – 100	Высокий
n·10 ⁵ – n·10 ¹⁰	Очень высокий	100 – 300	Очень высокий
> n·10 ¹¹	Чрезвычайно высокий	> 300	Чрезвычайно высокий

Анализ результатов

На основании информации Камского БВУ о предоставлении водных объектов в пользование и статусе их водопользования проведен анализ формирования химического состава вод исследуемой акватории (табл. 2). Одним из основных источников поступления микроэлементов в водную среду являются сбросы «АВИСМА» филиал ПАО «Корпорация ВСМПО-АВИСМА». При этом доля поступления отдельных исследуемых элементов (V, Mn, Cu, Cr³⁺, Zn) от объема сброса сточных вод составляет менее 1%, за исключением Fe_{общ}, поступление которого составляет 4%.

Таблица 2. Водопользование в бассейне р. Толыч по данным Камского БВУ

Водопользователь	Водоток	Расстояние от устья, км	Объем сброса сточных вод, тыс.куб.м	Перечень загрязняющих веществ
"АВИСМА" филиал ПАО "Корпорация ВСМПО-АВИСМА"	р. Толыч	9,47	561,43	NH ₄ ⁺ , V, взвешенные вещества, Fe _{общ} , K ⁺ , Ca ²⁺ , Mg ²⁺ , Mn, Cu, Na ⁺ , нефтепродукты, SO ₄ ²⁻ , сухой остаток, ХПК, Cl ⁻ , Cr ³⁺ , Zn
филиал "Пермский" ПАО "Т Плюс" Березниковская ТЭЦ-2	р. Затолыч	1,8 и 2,0	1879,46	взвешенные вещества, Fe _{общ} , Na ⁺ , нефтепродукты, SO ₄ ²⁻ , сухой остаток, Cl ⁻
АО "БСЗ"	р. Толыч	2,5	42304,51	взвешенные вещества, Fe _{общ} , Ca ²⁺ , Mg ²⁺ , Na ⁺ , нефтепродукты, SO ₄ ²⁻ , сухой остаток, ХПК, Cl ⁻

Пробы ДО представлены тонкодисперсной алеврито-глинистой фракцией. Водная вытяжка проб характеризуется слабокислой реакцией среды в р. Толыч (рН 6,48-6,80), содержание растворенного кислорода в воде составляет 3,25 мг/дм³, что ниже нормативного значения. Таким образом, воды характеризуются восстановительной обстановкой. Распределение микроэлементов в ДО (приняты во внимание концентрации более 1 мг/кг) в устьевой части характеризуется следующим рядом: Ba>Sr>Zn>Pb>V>>Rb>Cu>Ni>Li>Cr>Co>Sc>As>Sn.

Уровень загрязнения ДО в р. Толыч изменяется от среднего (верхнее течение) до очень высокого (устье). Очень высокий уровень загрязнения зафиксирован и в месте слияния р. Толыч и р. Затолыч в 4 км от устья, после сброса сточных вод предприятия «АВИСМА» филиал ПАО «Корпорация ВСМПО-АВИСМА» и филиала «Пермский» ПАО «Т Плюс» Березниковская ТЭЦ-2 (табл. 2). После сброса указанными водопользователями показатель Z_c ДО увеличивается на 30% относительно среднего течения реки.

Наиболее интенсивная аккумуляция в донных отложениях отмечена для Pb, Zn, Ga, W, Ba, Cu, Sn, V. Максимальная аккумуляция наблюдается в устьевой части реки для Pb ($KDA > n \cdot 10^7$) (табл. 3). Согласно опубликованным данным в условиях слабокислой среды (pH 6,8 для исследуемого водотока) на глинистых частицах донных осадков процессы активной сорбции свинца происходят за счет фульвокислот [3].

Повышенные значения КДА для Pb, Zn, Ga, W, Ba, Cu, Sn, V свидетельствуют об активном течении процессов аккумуляции этих элементов из воды в ДО за счет осаждения, сорбции или хемосорбции. Дальнейшие исследования требуют рассмотрения возможности протекания и обратного миграционного процесса – десорбции микроэлементов из ДО в водную среду.

Таблица 3. Уровень накопления тяжелых металлов в донных отложениях

Расстояние от устья	Zc	Коэффициент донной аккумуляции					
		n*10 ⁷	n*10 ⁶	n*10 ⁵	n*10 ⁴	n*10 ³	n*10 ²
р. Толыч							
6 км	17,11			Pb ₆ , Ga ₂	W ₅ , Cr ₅ , Cu ₄ , Zn ₄ , Se ₄ , Sr ₃ , V ₃ , Co ₃ , Ge ₃ , Be ₂ , As ₂ , Cd ₂ , Sn ₂ , Ni ₁ , Bn ₁	Rb ₈ , Li ₃	Mo ₁
4 км	151,10		Zn ₁ , Pb ₁	Be ₅ , Ga ₃ , V ₂ , W ₂ , Cu ₁ , Sn ₁ , Ba ₁	Ge ₇ , Co ₄ , As ₃ , Cr ₁	Se ₉ , Mo ₅ , Rb ₃ , Li ₁	Cd ₃
устье	218,67	Pb ₁			Cr ₂ , Co ₈ , Ni ₁ , Cu ₇ , Zn ₁ , Ge ₇ , As ₄ , Rb ₁ , Sr ₂ , Ba ₂ , W ₁	Se ₂ , Mo ₂ , Li ₇ , Cd ₈	

Известно, что в системе вода ↔ взвеси ↔ ДО ↔ рыба при наличии высоких концентраций тяжелых металлов в донных осадках неизбежны процессы постепенного вымывания их в водную среду и неблагоприятное воздействие на гидробионты, в частности на рыб [7].

Выводы

Повышенная техногенная нагрузка, обусловленная разрешенным сбросом сточных и дренажных вод в р. Толыч свидетельствует об интенсивной аккумуляции микроэлементов из водной среды в ДО на всем протяжении водотока. Результаты расчета коэффициентов донной аккумуляции показали, что наиболее интенсивные процессы осаждения характерны для Pb с максимальным коэффициентом КДА в устьевой части реки ($n \cdot 10^7$).

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-05-50071 и Министерства науки и высшего образования проект № 2019-0858.

Библиографический список

1. Двинских С.А., Китаев А. Б. Особенности формирования химического состава поверхностных вод гумидной зоны (на примере Пермского края) // Проблемы региональной экологии. № 5. 2011. С. 29-33.
2. Доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Пермского края в 2018 году». URL: <http://www.permecology.ru/ежегодный-экологический-доклад-2018/> (проверено: 10.03.21).

3. Закруткин В.Е., Гибков Е.В., Решетняк О.С., Решетняк В.Н. Донные отложения как индикатор первичного и источник вторичного загрязнения речных вод углепромышленных территорий Восточного Донбасса // Известия РАН. Серия географическая. 2020. Том 84. № 2. С. 259–271.

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. Приказ Министерства сельского хозяйства России от 13 декабря 2016 г. № 552 «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения».

6. Опекунов А.Ю., Митрофанова Е.С., В.В. Спасский, Опекунова М.Г., Шейнерман Н.А., Чернышова А.В. Химический состав и токсичность донных отложений малых водотоков Санкт-Петербурга // Водные ресурсы. 2020. Том 47. № 2. С. 196–207. DOI: 10.31857/S032105962002011X

7. Чухлебова Л.М., Бердников, Н.В. Особенности накопления тяжелых металлов в воде, донных отложениях и мышцах рыб среднего течения р. Амур // Региональные проблемы. 2011. 1(14). С. 54–58.

8. Янин Е.П. Техногенные геохимические ассоциации в донных отложениях малых рек. 2002. Москва: Изд-во ИМГРЭ.

9. Vane, C. H., Turner, G. H., Chenery, S. R, Richardson, M., Cave, M. C., Terrington, R., Gowing, C. J. B., Moss-Hayes, V. Environmental Science Processes & Impacts and toxicity from sediment cores of the inner River // Environ Sci.: Processes Impacts. Royal Society of Chemistry. 2020. (22). pp. 364–380. doi: 10.1039/c9em00430k.

10. Tye, A.M., Chenery, S., Cave, M.R. et al. Using $^{206/207}\text{Pb}$ isotope ratios to estimate phosphorus sources in historical sediments of a lowland river system // J Soils Sediments. 2021. № 21.P. 613–626. <https://doi.org/10.1007/s11368-020-02820-y>

11. Лепихин А.П., Максимович Н.Г., Садохина Е.Л., Мирошниченко С.А., Меньшикова Е.А. Роль донных отложений в формировании качества воды рек Западного Урала // Вестник Пермского университета. 1999. № 3. С. 299.

12/ Меньшикова Е.А., Блинов С.М. Современное состояние донных отложений рек кизеловского угольного бассейна // Минералогия техногенеза. 2005. Т. 6. С. 238–250.

Авторский указатель

- Агафонова М.М. 61
Бажутин П.И. 249
Баллю М.Б. 112
Белкин П.А. 288
Богомаз М.В. 80
Божук Л.А. 99
Болотов Г.Б. 123
Боталова А.В. 129
Бычков С.Г. 153
Волкова М.А. 288
Галинова О.В. 80
Гладкова Е.В. 134
Голдырев В.Н. 37, 61
Горожанцев А.В. 202
Грибков Д.С. 46
Дементьева К.В. 53
Долгаль А.С. 158
Дробинина Е.В. 233
Ермолович И.Г. 223
Ждакаев В.И. 241
Зерова А.С. 167
Золотарев Д.Р. 233
Зубриков А.А. 177
Ибламинов Р.Г. 24
Иконников Е.А. 245, 249
Исаева Г.А. 53
Казымов К.П. 72
Капитанова А.С. 139
Карасева Т.В. 112, 139
Карпов С.Б. 177
Катаев В.Н. 223
Кивилева З.В. 263
Килин Ю.А. 256
Клецкина О.В. 275
Ковалёва Т.Г. 263
Коврижных С.Б. 37, 61
Кожевникова Е.Е. 129, 134
Колесников В.П. 177
Копылов И.С. 280, 298
Корякина А.В. 249
Красильников П.А. 275
Кузин А.В. 184
Кузнецова В.А. 268
Лаврова Н.В. 80
Лебедев Г.В. 104
Лебедева А.С. 72
Макаров К.С. 37
Маликова Р.Р. 184
Меньшикова Е.А. 294, 316
Минькевич И.И. 256
Митюнина И.Ю. 3
Михалев В.В. 11
Наумов В.А. 37, 61
Некрасов А. Н. 209
Некрасов А.С. 117
Оборин В.В. 298
Огородова И.В. 5
Ожгибесов В.П. 144
Олянский Ю. И. 308
Осовецкий Б.М. 83
Ощепкова И.В. 37
Пактовский Ю.Г. 24, 89
Перовошиков Р.Д. 288
Попов А.Г. 94
Пузик А.Ю. 24
Путилова А.В. 99
Пыжьянов Ю.Б. 189
Рыбальченко А.Я. 11
Симанов А.А. 153
Степанов Ю.И. 202
Сунцев А.С. 46
Тайницкий А.А. 202
Тимганов Д.Н. 117
Тюрина И.М. 245
Ушакова Е.С. 316
Федосеев К.В. 104
Хлуденева Т.Ю. 308
Хопта И.С. 112
Хохлова В.В. 153
Худеньких К.О. 268
Хусаинова А.Ш. 99
Щекочихина Е. В. 308
Юркина А.Р. 263

Содержание

1. Общие вопросы	3
2. Минералогия, литология, полезные ископаемые.....	24
3. Геология нефти и газа.....	112
4. Геофизика, геофизические методы.....	153
5. Гидрогеология и карст.....	223
6. Инженерная геология и геоэкология.....	280
Авторский указатель.....	322

Научное издание

**Геология и полезные ископаемые Западного Урала
(90-летию геологического факультета посвящается)**

Сборник научных статей

Выпуск 4(41)

Под общей редакцией П. А. Красильникова

Выпускается в авторской редакции
Техническая подготовка материала: *П. А. Красильников*

Объем данных 22,7 Мб
Подписано к использованию 09.07.2021

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