

**ПЕРМСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ  
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ**

# **ГЕОЛОГИЯ И ПОЛЕЗНЫЕ ИСКОПАЕМЫЕ ЗАПАДНОГО УРАЛА**

**Сборник научных статей  
Выпуск 5(42)**



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

Сборник научных статей

Выпуск 5(42)

*Под общей редакцией П. А. Красильникова*



Пермь 2022

УДК 550.8+622

ББК 26.3

Г36

**Геология** и полезные ископаемые Западного Урала [Электрон-  
Г36 ный ресурс] : сборник научных статей / под общ. ред. П. А. Красиль-  
никова ; Пермский государственный национальный исследователь-  
ский университет. – Пермь, 2022. – Вып. 5(42). –  
23,5 Мб ; 292 с. – Режим доступа: <http://www.psu.ru/files/docs/science/books/sborniki/geologiya-i-poleznye-iskopaemye-zapadnogo-urala-42.pdf>. – Заглавие с экрана.

ISBN 978-5-7944-3085-1

ISBN 978-5-7944-3881-9 (вып. 5(42))

Сборник содержит научные статьи по докладам 42-й Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, состоявшейся 17 мая 2022 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.

**УДК 550.8+622**

**ББК 26.3**

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

#### РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

д.г.-м.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

*Рецензенты:* руководитель сектора подготовки программы работ НИПППД  
«Недра», канд. геол.-мин. наук, доцент **Д. М. Димухаметов**;  
ведущий научный сотрудник ВНИИ Галургии, канд. тех. наук  
**А. М. Пригара**

ISBN 978-5-7944-3085-1

ISBN 978-5-7944-3881-9 (вып. 5(42))

© ПГНИУ, 2022

## ОБЩИЕ ВОПРОСЫ

**С.В. Пьянков, В.В. Голдырев, К.И. Плюснина**  
ПГНИУ, goldval@mail.ru

### **УЧАСТИЕ ПЕРМСКОГО УНИВЕРСИТЕТА В МЕРОПРИЯТИЯХ НОЦ «РАЦИОНАЛЬНОЕ НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЕ»**

Пермский государственный университет является участником научно-образовательного центра мирового уровня «Рациональное недропользование» (НОЦ). Данная статья является обзорной по мероприятиям проведенных Университетом в рамках деятельности Центра в 2021 году.

Благодаря мероприятиям НОЦ «Рациональное недропользование», происходит векторное развитие направлений в сфере «Наука и образование», идущее на укрепление позиций университета и Пермского региона в целом, восстанавливаются утраченные связи, как между структурными подразделениями ПГНИУ, так и представителями реального сектора экономики РФ.

**S.V. Pyankov, V.V. Goldyrev, K.I. Plyusnina**  
Perm State University, goldval@mail.ru

### **PARTICIPATION OF PERM STATE UNIVERSITY IN THE EVENTS OF THE RESEARCH AND EDUCATIONAL CENTER (REC) "RATIONAL SUBSOIL USE"**

Perm State University is a member of the world-class Research and Educational Center "Rational Subsoil Use". This article is an overview of the events carried out by the University as part of the REC's activities in 2021.

Thanks to the activities of the REC "Rational Subsoil Use", there is an aimed development of areas in the field of "Science and Education", which is targeted at strengthening the position of the University and Perm region as a whole, lost connections are being restored, both between Perm State University departments and representatives of the real sector of the economy of the Russian Federation.

В соответствии с постановлением Правительства РФ от 30 апреля 2019 г. № 537 "О мерах государственной поддержки научно-образовательных центров мирового уровня на основе интеграции образовательных организаций высшего образования и научных организаций и их кооперации с организациями, действующими в реальном секторе экономики" [1] в 2019 году было создано 5 первых научно-образовательных центров мирового уровня (НОЦ) в Пермском крае, Белгородской, Кемеровской, Нижегородской и Тюменской областях (на данный момент времени пятнадцать).

Для координации деятельности участников НОЦ Министерством образования и науки Пермского края создана Автономная Некоммерческая Организация



«НОЦ «Рациональное недропользование». Стратегической целью Центра является обеспечение технологического преимущества в ресурсосберегающем безопасном освоении минерально-сырьевой базы России, разработке и апробации новых моделей структурных изменений в экономике регионов в условиях формирования глобального цифрового пространства, как ответа на «большие вызовы», стоящие перед Россией, создающего переход к устойчивому поступательному территориальному развитию страны.

На начальном этапе (первые три года) в состав Пермского НОЦ «Рациональное недропользование» вошло 3 ключевых участника: ПГНИУ, ПНИПУ, ПФИЦ, но в 2022 г. состав участников был существенно расширен.

Развитие НОЦ идет по 7 направлениям: твёрдые полезные ископаемые, углеводороды, энергетическое машиностроение, новые материалы и вещества, химические технологии, автоматизация и роботизация производств и сервисов, экология и безопасность территорий[2].

Существуют разные формы поддержки участников НОЦ:

- Российский фонд фундаментальных исследований (РФФИ) и Пермский край объявили о проведении регионального конкурса на лучшие проекты фундаментальных научных исследований по направлениям, актуальным для Пермского научно-образовательного центра мирового уровня «Рациональное недропользование». Задача конкурса – поддержка фундаментальных научных исследований, развитие регионального научного сотрудничества, поддержка научных коллективов и отдельных ученых, которые проводят фундаментальные научные исследования по тематическим направлениям, актуальным для Пермского научно-образовательного центра мирового уровня «Рациональное недропользование» (учеными ПГНИУ получено 7 грантов РФФИ НОЦ Пермский край);

- В 2021 году Министерства образования и науки РФ выделило средства на создание лаборатории под руководством молодых исследователей в организациях – участниках НОЦ (в ПГНИУ получено финансирование и организована «Молодежная лаборатория интегральной фотоники»). Одним из направлений развития лаборатории является технологий фотоники в недропользование. В работе лаборатории принимают участие сотрудники и студенты, в том числе, геологического факультета.

- Функционирует Центр коллективного пользования уникальным научным оборудованием Пермского государственного национального исследовательского университета для обеспечения реализации программы Пермского научно-образовательного центра (НОЦ) на 2020 – 2024 гг. и исследовательских проектов в областях наносистем, рационального природопользования и экологии. Целью выполнения работ является комплексное развитие ЦКП научным оборудованием для их эффективного участия в реализации исследовательских программ и проектов в рамках реализации Программ деятельности НОЦ, а также поддержка и развитие Пермского НОЦ.

Впервые проведенный в 2021 г. открытый внутренний конкурс по распределению средств, выделенных на организацию и проведения научных исследований НОЦ, показал свою высокую эффективность. Его итогами стали существенный рост статей уровня article в международных базах цитирования WoS и Scopus

(на 40 статей) и 29 зарегистрированных патентов. В 2022 г. внутренний конкурс также запущен в работу, что позволит получить еще больший эффект, т.к. количество научных коллективов, заранее готовых принять участие существенно выросло.

В ходе реализаций мероприятий НОЦ Университет в 2021 году стал правообладателем 29 патентов на изобретения (основная часть патентов получена по направлению – химические технологии).

Разработаны СУОС (самостоятельно устанавливаемые образовательные стандарты) по направлению 21.03.03 Геодезия и дистанционное зондирование и 8 образовательных программ высшего образования в соответствии с приоритетными направлениями Научно-образовательного центра: «Дистанционное зондирование» (21.03.03 Геодезия и дистанционное зондирование); «Прикладная гидрология» (05.03.05 Прикладная гидрометеорология); «Геофизические методы исследования земной коры» (05.04.01 Геология); «Прикладная литология» (05.04.01 Геология); «Управление земельными ресурсами» (05.03.06 Экология и природопользование); «Химия, физика и механика материалов» (04.03.02 Химия, физика и механика материалов); «Безопасность технологических процессов химических и нефтехимических производств» (20.03.01 Техносферная безопасность); «Физика технологических процессов» (16.03.01 Техническая физика).

Проведена международная и общественно профессиональная аккредитация 2 образовательных программ по направлениям подготовки в рамках приоритетных направлений НОЦ.

В ходе реализации программы НОЦ разработаны и реализованы в 2021 году 4 дополнительные профессиональные программы в форме групповых стажировок: «Проектирование существующих и новых нефтяных месторождений с использованием ВМ технологий», «Правовые аспекты оценки экологического ущерба и объектов накопленного вреда окружающей среде» и др. Разработана и реализована дополнительная профессиональная программа «Написание научной статьи на английском языке» в целях подготовки к академической мобильности.

Двадцать сотрудников ПГНИУ, в том числе представители геологического факультета, прошли стажировку по теме «Управление инновационными проектами в научных и образовательных организациях» в Центре развития компетенций руководителей научных, научно-технических проектов и лабораторий ПНИПУ.

Ученые ПГНИУ прошли стажировки в рамках мероприятий по мобильности НОЦ. Во время стажировок пермские исследователи получили новые знания и установили сотрудничество – заключили меморандумы о взаимопонимании, договорились об участии в разработке внутрироссийских и международных проектов. Принимающими организациями выступили российские и международные научные институты и университеты, а также промышленные партнёры: Факультет горного дела и геологии в университете Белграда (Сербия), Фрайбергская горная академия (Германия), Болгарская академия наук, Политехнический университет Турина (Италия), Университет Чукурова (Турция), научные и образовательные организации России. По итогам стажировок был подписан меморандум между ПГНИУ и Фрайбергской горной академией, который подразумевает дву-

сторонний обмен научных сотрудников и студентов. Также заключено соглашение о сотрудничестве между ПГНИУ и Институтом биологических проблем Севера Дальневосточного отделения Российской академии наук. Готовятся к подписанию меморандум о сотрудничестве между геологическими факультетами Университета Белграда и Пермского университета.

Состоялся обмен делегациями ученых Пермского университета и Крымского Федерального Университета им. В.И. Вернадского. Достигнута договоренность о прохождении практики студентами геологического факультета на научно-образовательных полигонах Крыма.

Принимая во внимание значительные заслуги геологов Пермского края, наличие признанной геологической научной школы, Федеральное агентство по недропользованию положительно рассмотрело заявку о проведении в городе Перми в 2025 году юбилейной XV Всероссийской открытой полевой олимпиады юных геологов инициатором проведения данного мероприятия в Пермском крае выступили АНО «Пермский НОЦ мирового уровня «Рациональное недропользование» и ФГАОУ ВО «Пермский государственный национальный исследовательский университет». Проведение соревнований команд юных геологов планируется на территориях Пермского и Кунгурского районов и научно-образовательной базе ПГНИУ «Предуралье».

Таким образом, благодаря проведенным мероприятиям НОЦ «Рациональное недропользование», происходит векторное развитие направлений в сфере «Наука и образование», идущее на укрепление позиций университета и Пермского региона в целом, восстанавливаются утраченные связи, как между структурными подразделениями ПГНИУ, так и представителями реального сектора экономики РФ.

#### **Библиографический список**

1. *Постановление* Правительства РФ от 30 апреля 2019 г. № 537 "О мерах государственной поддержки научно-образовательных центров мирового уровня на основе интеграции образовательных организаций высшего образования и научных организаций и их кооперации с организациями, действующими в реальном секторе экономики", 2019.
2. *Программа деятельности* Пермского научно-образовательного центра мирового уровня «Рациональное недропользование» Пермский край, 2021, С. 23-29.

**Р.С. Пономарев, О.Н. Ковин, В.В. Голдырев,  
К.И. Плюснина, А.В. Зобачев**  
ПГНИУ, on\_kovin@psu.ru

## **О ПЕРСПЕКТИВАХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ФОТОНИКИ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМ НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЯ**

В течение последних десятилетий наблюдается устойчивый рост интереса к практическому использованию современных достижений в области фотоники для решения практических проблем в области недропользования. Во многих отраслях недропользования отмечается переход от опытных работ по использованию оптико-волоконных технологий к практическому использованию разрабатываемых систем. Краткий обзор состояния отрасли дает возможность оценить перспективы развития новых направлений их применения в области геофизики, геологии и горнодобывающей промышленности.

**R.S. Ponomarev, O.N. Kavin, V.V. Goldyrev,  
K.I. Plyusnina, A.V. Zobachev**  
Perm State University, on\_kovin@psu.ru

## **ABOUT PERSPECTIVE OF USAGE OF PHOTONICS TECHNOLOGY FOR PROBLEMS SOLUTION IN THE MINERAL RESOURCES DEVELOPMENT**

For the last decades, a sustained growth of interest to the practical application of modern achievements in photonics for solution the problems in mineral resource development is noted. Transition from experimental studies to practical solutions of the problems occur in many sectors of mineral resource development. A brief overview of state of the photonics technology allows an evaluation the perspective of its application in geophysics, geology, and mining industry.

Фотоника – это отрасль науки, изучающая генерацию, регистрацию и манипулирование световыми потоками. В последние десятилетия мы можем наблюдать бурный рост интереса к технологиям фотоники и их практического использования в различных областях науки и техники [2]. Применение волоконно-оптических систем (ВОС) для передачи информации и измерения различных параметров сред демонстрирует их существенное превосходство по сравнению с традиционными устройствами. Их преимущества главным образом связаны с невосприимчивостью к электромагнитным полям, химической устойчивостью, возможностью регистрации данных на больших расстояниях (десятки километров) с большой детальностью в реальном времени. Однако широкое практическое применение эти системы получили в основном за рубежом. Например, практически все зарубежные нефтяные компании уже используют волоконно-оптические системы мониторинга для охраны и безопасного функционирования трубопроводных сетей [7]. В связи с сокращением возможности использования зарубежных разработок из-за возникшей политико-экономической ситуации возни-

кает необходимость разработки отечественных волоконно-оптических сенсорных технологий, как в области приборостроения, так и методологии их применения. Важным моментом при этом является оценка современного уровня разработок и определение на её основе перспективных путей развития.

Долговечность, надежность, относительная простота установки и обслуживания волоконно-оптических измерительных систем определяет их эффективность при проведении долгосрочных мониторинговых наблюдений. Основные измеряемые параметры ВОС – деформации, температура и акустическая вибрация. В области недропользования технологии фотоники в настоящее время реализуются в основном в виде стационарно-установленных систем мониторинга за процессами разработки месторождений углеводородного и минерального сырья и состоянием элементов их инфраструктуры.

Системы измерений на основе волоконно-оптических технологий могут быть разделены на системы с точечными датчиками, где для регистрации используются отдельные модули, а оптический кабель используется только для передачи информации и с распределенными датчиками (DAS), где сама волоконно-оптическая линия используется как датчик.

Системы с точечными датчиками применяются в случае проведения сложных измерений, например, при регистрации многокомпонентных данных сейсморазведки. Так французская компания Серсель-Оптоплан разработала четырёхкомпонентную сейсморегистрирующую систему для долговременного мониторинга разработки пластов или процесса закачки (гидроразрыва пласта) на участках морских нефтяных месторождений [3]. Используемая на месторождении Экофиск постоянная сейсморегистрирующая система включает в себя: 1) набортную систему декодирования лазерного излучения и регистрирующую систему, 2) подводное оборудование, состоящее из 200 км кабеля с приемными модулями (4000 штук), каждый из которых содержит 4 интерферометрических датчика (три акселерометра и один гидрофон). Использование таких систем позволяет значительно повысить эффективность разработки месторождения за счет постоянного контроля за изменением параметров коллектора и сопутствующих сейсмических шумов. Так же эта стационарная система используется для периодического проведения площадной сейсмической съемки с целью уточнения параметров геологического строения и изменений в положении водонефтяного контакта. С теми же целями для работ вертикального сейсмопрофилирования (ВСП), измерения параметров движения флюидов, давления и шумов в скважинах протестированы и уже применяются системы с точечным и распределенным типом датчиков [5]. Пример использования DAS для проведения работ ВСП в скважине показан на Рис. 1.

Системы распределенного датчика (DAS – distributed acoustic sensor) нашли широкое применение в области контроля за состоянием инфраструктуры добывающих предприятий. Современные распределенные волоконно-оптические системы регистрации позволяют определить:

- температуру грунта вдоль проложенного сенсора с разрешением 1 °C;
- смещение грунта вдоль трубопровода с точностью не менее 15 мм;
- место события с точностью до 0,5 м. на участке длиной до 160 км;

- профиль распределения температуры с шагом 0,1 м. и разрешением 0,1 °С;
- время измерения (от 1 мин. для 1 канала измерения).

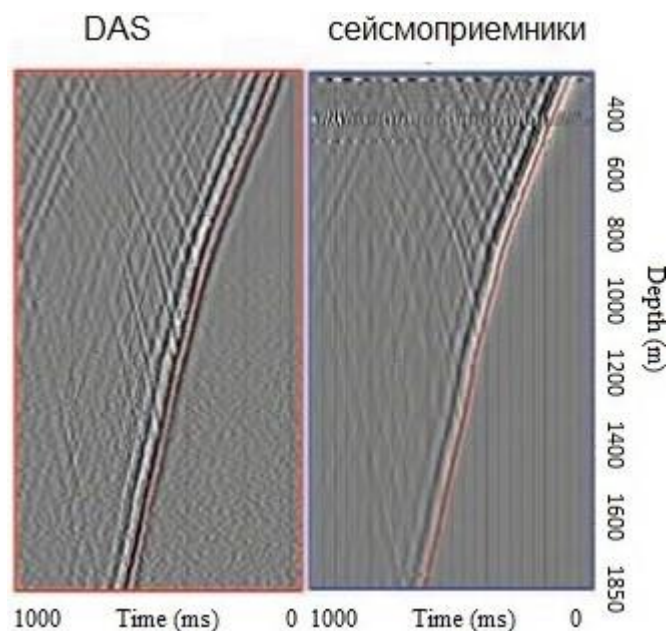


Рис. 1. Пример сейсмограмм ВСП, зарегистрированных с системой DAS и обычными сейсмоприемниками.

Это дает возможность с большой точностью определить место деформации грунта основания трубопровода, утечки из трубопровода, проведения земляных работ в его охранной зоне и т.д. [1].

Испытания ВОС в ходе опытно-промышленной эксплуатации были проведены на магистральном газопроводе (МГ) «Сахалин – Хабаровск – Владивосток». В ходе испытаний были протестированы возможности применения системы для осуществления в режиме реального времени сбора, обработки и отображения информации о деформациях линейной части трубопроводов, вызванных просадками и выпучиваниями грунта, а также контроля температуры объектов, в том числе при промерзании и растеплении грунта. По результатам испытаний установлено, что ВОС соответствует требованиям ПАО «Газпром» и впоследствии была включена в проектное решение строительства МГ «Сила Сибири» и ряда других инвестиционных проектов.

Перспективным направлением применения волоконно-оптических систем является мониторинг процессов связанных с добычей твердых полезных ископаемых. Проведение опытных работ по регистрации распределения температуры в горных выработках, деформации окружающих пород и сейсмической активности массива представлено в нескольких публикациях [6].

На российском рынке волоконно-оптических мониторинговых систем в последнее время стали появляться отечественные компании, занимающиеся изготовлением приборной части оборудования и программных средств регистрации и обработки данных. К числу таких компаний, участвующих в крупных проектах на территории России, относятся «ОптоМониторинг» (проекты «Татнефть», «Газпромнефть-Ямал»), ЗАО «Лазер Солюшенс» (проекты ПАО «Россети»), «Т8 СЕНСОР» (проекты Газпром, РЖД, аэропорт Домодедово), Инверсия-С.

Дальнейшее развитие фотоники как современного перспективного направления решения проблем недропользования, по нашему мнению, состоит в совершенствовании инструментальной базы и разработке новых методик использования ВОС для различных объектов и условий проведения работ.

#### **Библиографический список**

1. Демидов П., Дмитриенко М. Применение оптического волокна и DAS в добыче нефти и газа. Алгоритм безопасности. №4. 2014. С. 12-13
2. Жижин В. Волоконно-оптические датчики: перспективы промышленного применения. Электронные компоненты. №12. 2010. С. 17-23
3. Лангхаммер Я., Эриксруд М., Накстад Х. и Кринглотт Д.Т. Оптоволоконные донные регистрирующие системы для повышения эффективности разработки месторождений нефти и газа. Приборы и системы разведочной геофизики. №03(29), 2009. С. 31-35.
4. Смирнов С.В. Волоконно-оптические технологии для морских нефтегазовых месторождений. Neftegaz.RU. №8, Август 2017
5. Шнеерсон М.Б. Использование распределенных акустических сейсмических систем при скважинных ВСП. Геофизика. Экспозиция нефть газ. №6(45). 2015. С. 64-66
6. Bin Tang and Hua Cheng. Application of Distributed Optical Fiber Sensing Technology in Surrounding Rock Deformation Control of TBM-Excavated Coal Mine Roadway. Journal of Sensors. Volume 2018, Article ID 8010746, 10 pages doi:10.1155/2018/8010746
7. Kragas, Tor K., Williams, Brock A., and Gregory A. Myers. The Optic Oil Field: Deployment and Application of Permanent In-well Fiber Optic Sensing Systems for Production and Reservoir Monitoring. SPE Annual Technical Conference and Exhibition, New Orleans, Louisiana, September 2001. doi:10.2118/71529-MS

**А.Г. Попов**  
ПГНИУ, p11p@mail.ru

## ТИТАН СЕВЕРНОГО УРАЛА

В заметке приведено проявление титана, находящееся на Северном Урале в непосредственной близости от предприятия Ависма, производящим титановую губку из экспортируемого концентрата. Данное проявление может представлять интерес, как потенциальное месторождение титана.

**Ключевые слова:** титан, титановая губка, Ависма, Южная Юбрышка, Северный Урал.

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

## TITAN OF THE NORTHERN URALS

The article shows the manifestation of titanium, located in the Northern Urals in the immediate vicinity of the Avisma enterprise, which produces titanium sponge from exported concentrate. This manifestation may be of interest as a potential titanium deposit.

**Keywords:** Titanium, Titanium sponge, Avisma, Southern Yubryshka, Northern Urals.

Добыча и использование титана характеризует технологический уровень развития государства. Титан является стратегическим металлом и применяется в строительстве космических аппаратов, самолетов, подводных, надводных судов и в иных отраслях промышленности.

По запасам титана ( $\text{TiO}_2$ ) Россия занимает пятое место в мире, что составляет 7% от мировых запасов [1; 2]. Балансовые запасы государства утверждены в количестве 607 млн. т (рис. 1). А разрабатывается только 6% от запасов [1].

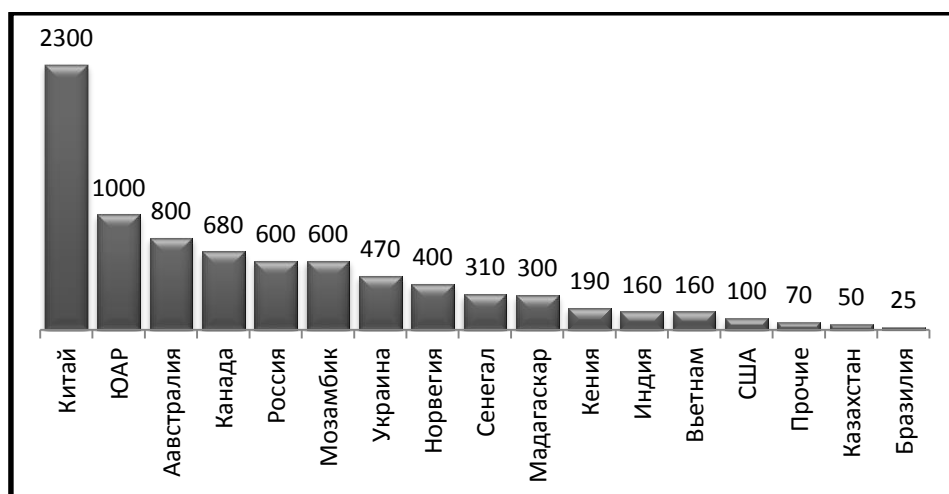


Рис. 1. Мировые запасы ильменита  $\text{TiO}_2$  без прогнозных ресурсов в млн. т [2]



Титановую губку\* из титанового концентрата производят 5 государств: Китай, Япония, Россия, Казахстан (рис. 2). Лидером производства титана является Китай. Второе место по производству титана из экспортируемого концентрата занимает Япония, не имея своих месторождений. Третье место занимает Россия, причем концентрат экспортируется с Украины. Лидером потребления титана является Китай и США, с суммарным потреблением 60% от мирового производства.

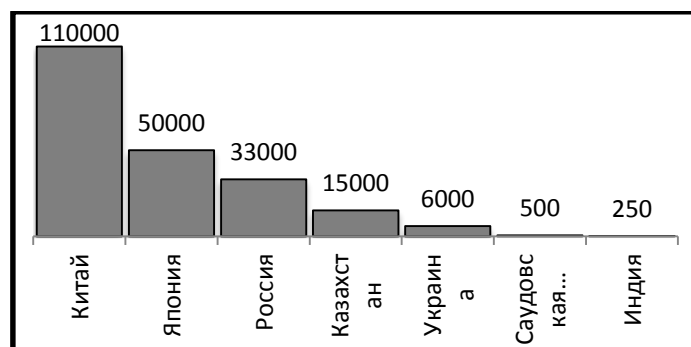


Рис. 2. Производство титановой губки в мире

Потребность России в титане есть. Так на строительство одного пассажирского авиалайнера массой в среднем 130 т приходится 20 т титана (на сплав корпуса, титановые заклепки и пр. части). Лизинговый воздушный гражданский флот России на 2019 г. составлял 640 единиц. Легко подсчитать, что для создания отечественного гражданского воздушного флота в 1000 авиалайнеров потребуется не менее 20 тыс. т титана (600 х 20). Это без учета потребностей космической отрасли промышленности, ВПК и прочих не менее важных отраслей.

Производством титановой губки занимается предприятие Ависма находящееся в г. Березники Пермского края и Верхней Салде Свердловской области. Сырье для производства титановой губки привозное, с Украины. Производство титановой губки составляет 30 тыс. т в год. В г. Березниках получают титановую губку, плавка чистого титана и изготовления изделий проводится в Верхней Салде, ранее проводилось в г. Челябинске. Почти вся титановая губка и изделия идут на экспорт.

В 230 км северо-восточнее от г. Березников рядом с пос. Велс Красновишерского района, на Центрально-Уральском поднятии Северного Урала находятся проявления титана магматического и метаморфического генезиса (рис. 3).

**Магматическая группа проявлений** приурочена к ишеримскому метагаббродолеритовому магматическому комплексу ордовика ( $vO_{2-3is}$ ) метагаббродолеритов и метапироксенитов со шлирами титаномagnetитовых руд. Интрузии ишеримского комплекса наблюдаются по возвышенностям Юбрышка и прослеживаются по левому борту долины р. Вишеры на протяжении 25 км.

На возвышенности Южная Юбрышка установлена интрузия амфиболизированных пироксенитов. В пределах интрузии имеет место быть пластообразное рудное тело титаномagnetитовых руд полого падающее на восток, мощность до

\* Титановая губка – промежуточный продукт в производстве чистого металлического титана из руды в виде хлористого титана, который затем восстанавливается до чистого титана реакцией с хлоридом магния при высокой температуре и дистилляции.

20,0 м. Горными выработками тело прослежено на глубину 15,0-20,0 м и по простиранию на 150,0 м. Руда представлена вкраплениями титаномагнетита размерами 0,1-3,0 мм, а также вкраплениями пирита и халькопирита (Зылев, 1957ф).

Содержание  $\text{TiO}_2$  в титаномагнетите достигает 15,0-18,0%. По химическим анализам средний состав уды в процентах:  $\text{TiO}_2$  – 5,65-10,0;  $\text{V}_2\text{O}_5$  – 0,85;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 20,7;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – 15,9;  $\text{FeO}$  – 21,5.

В 1957 г. запасы титана были подсчитаны в авторском варианте в количестве 8,8 млн. тонн (Зылев, 1957ф), оцениваемые ныне, как прогнозные ресурсы категории  $P_2$ .

В 1934 г. экспериментальные обогатительные работы показали, что руда не пригодна для механического обогащения с целью получения ильменитового концентрата. Обогащение проводилось без магнитной сепарации с простым механическим дроблением. Пробная плавка руды 1957 г., на железо показала закономерную тугоплавкость, что характерно для титановых руд и было принята за отрицательный фактор.

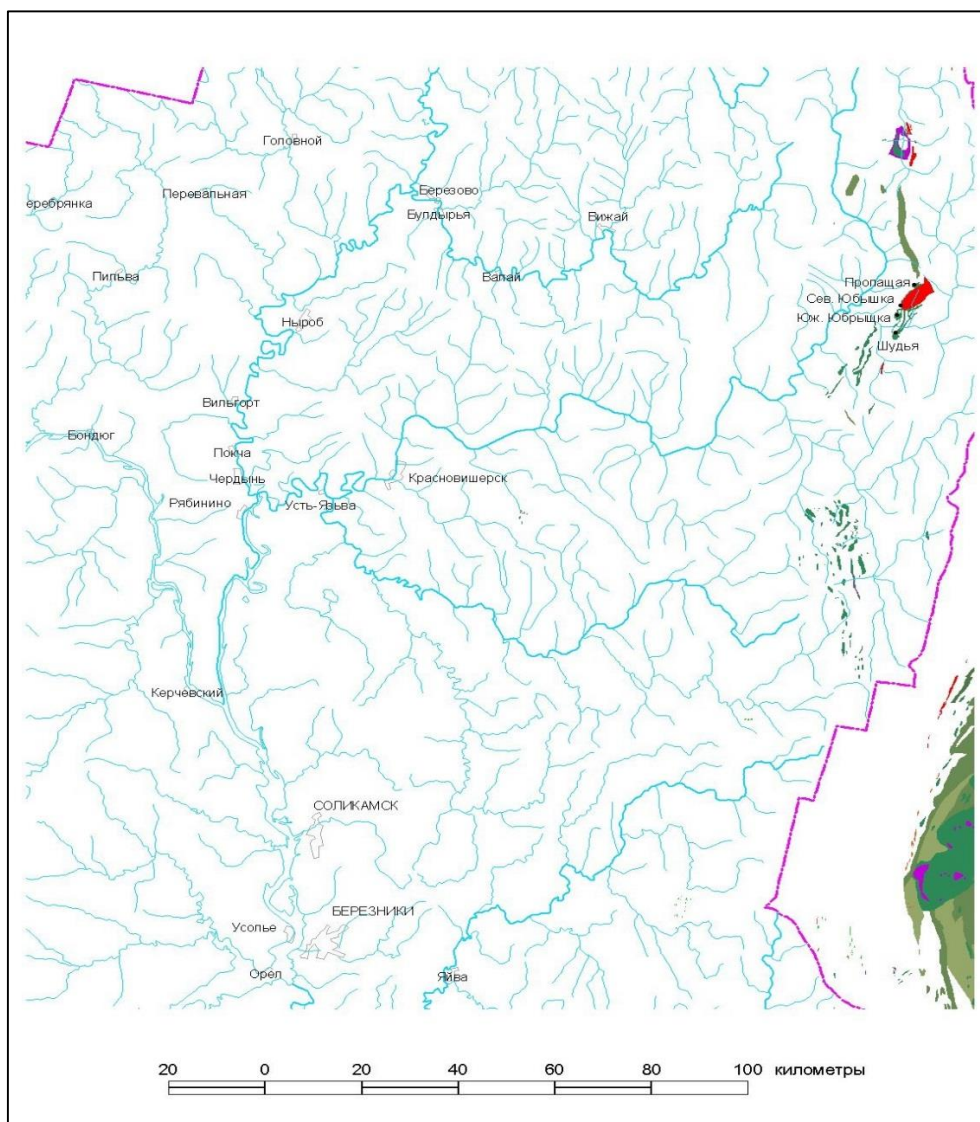


Рис. 3. Местонахождение проявления титана Юж. Юбырка и магматические комплексы

**Метаморфическая группа проявлений** титана приурочена к *ишеримской свите верхнего рифея* ( $R_{3is}$ ), представленной кварцитопесчаниками с прослоями титан-циркониевых руд и к *расьинской свите среднего рифея* ( $R_{2rs}$ ), представленной кварцитопесчаники и сланцы с магнетитом.

Визуально наблюдаемые прослои титано-циркониевых и титано-магнетитовых руд расьинской и ишеримской свит так и не были изучены в полной мере. Ресурсы титана расьинской и ишеримской свит могут быть оценены в десятки миллионов тонн.

**Резюме.** Проявление титана на г. Южная Юбрышка можно разведать с целью разработки и получения титанового концентрата для производства титановой губки на предприятии Ависма. Однако, заинтересованности в этом большого и малого бизнеса нет, а государственный заказ не сформирован. Хочется отметить, что проведения всех мероприятий от поисков, разведки до начала разработки может составить десятки лет и очень значительные затраты. Хотя вполне достаточно взять крупнообъемную технологическую пробу руды, по результатам испытания которой можно судить о промышленной значимости и о необходимости проведения разведки.

#### **Библиографический список**

1. *Государственный доклад* о состоянии и использования минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2020 г. М, Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации, Федеральное агентство по недропользованию (Роснедра), 2020. <https://mnr.gov.ru/>
2. MINERAL COMMODITY SUMMARIES, USGS, 2021 <https://www.usgs.gov/>
3. *Попов А.Г.* ГЛУБИННЫЙ ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ РАЗРЕЗ И ТЕКТОНИКА СЕВЕРНОГО УРАЛА // Вестник Пермского университета. Геология. 2017. Т. 16. № 1. С. 26-34.

## ПРИМЕНЕНИЕ ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ РЕЛЬЕФА ПРИ ПОСТРОЕНИИ КАРТ ИЗОГЛУБИН ВЕРХНЕКАМСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ СОЛЕЙ

В статье рассмотрена возможность применения цифровых данных рельефа, находящихся в открытом доступе, для построения карт изоглубин Верхнекамского месторождения солей.

**Ключевые слова:** Верхнекамское месторождение солей, карты изоглубин, SRTM.

D.S. Gribkov<sup>1</sup>, A.S. Suntsev<sup>2</sup>  
<sup>1</sup>JSC "VNII Galurgiya", <sup>2</sup>Perm State University

## APPLICATION OF DIGITAL RELIEF MODEL IN THE CONSTRUCTION OF ISOGLUBINE MAPS OF THE VERKHNEKAMSK SALT DEPOSIT

The article considers the possibility of using digital relief data to build maps of the isoglubines of the Verkhnekamsk Salt Deposit.

**Key words:** Verkhnekamskoe Salt Deposit, maps of the isoglubines, SRTM.

Карты изоглубин залегания промышленных пластов на Верхнекамском месторождении солей являются важными исходными данными для проведения геомеханических расчетов добычных работ, результаты которых влияют на полноту извлечения полезного ископаемого. Карты изоглубин составляются на основе данных бурения поверхностных скважин и данных, полученных в ходе подземной эксплуатационной разведки.

Точность представлений о глубинах залегания промышленных пластов определяется, прежде всего, детальностью проведенных геологоразведочных работ. На одном из участков месторождения проведено сопоставление структурных карт кровли промышленного пласта, построенных в разные стадии изучения залежи (рис. 1).

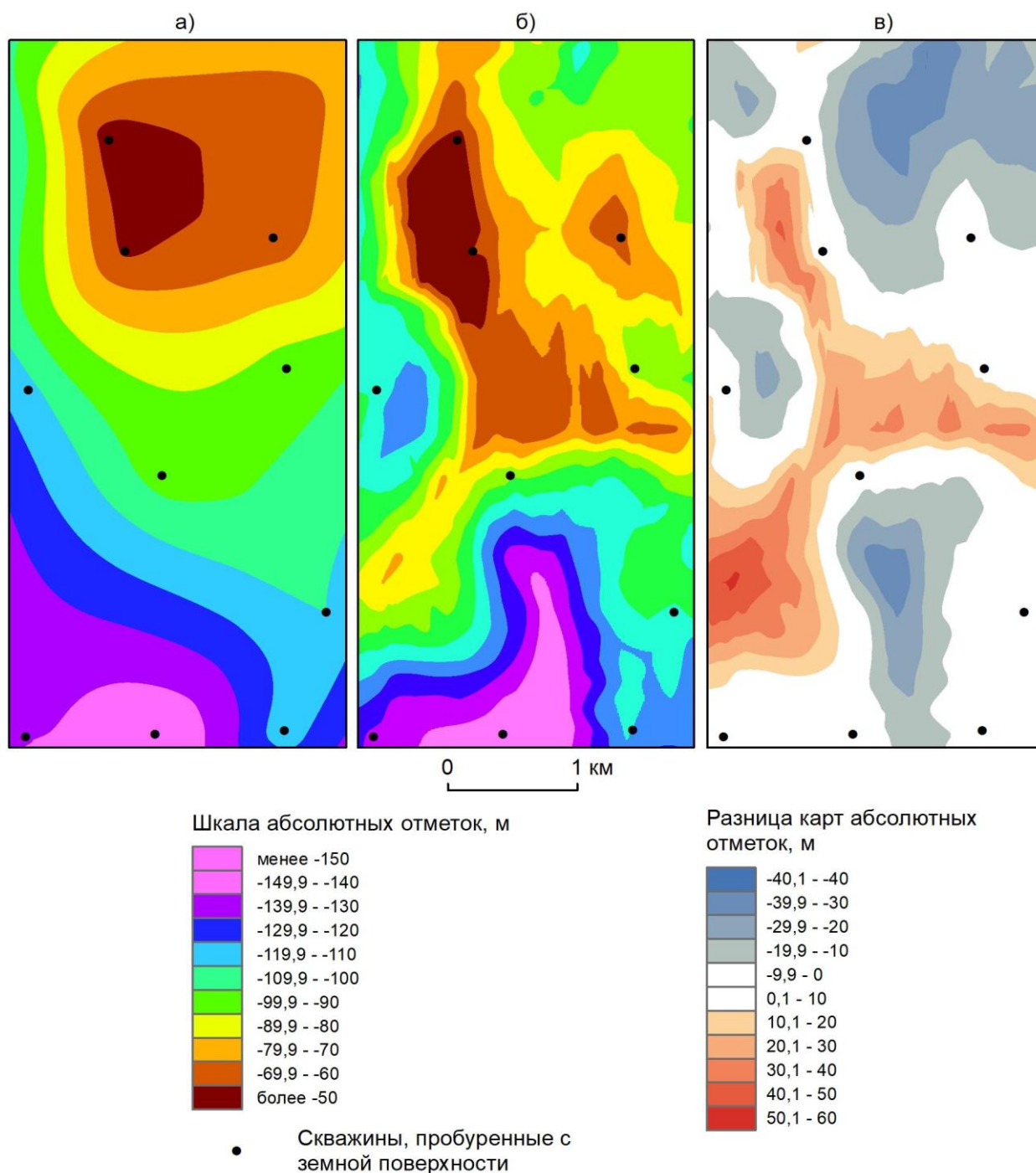


Рис. 1. Фрагменты структурных карт кровли промышленного пласта, построенных по данным солеразведочных скважин, пробуренных с поверхности земли (а), и по данным эксплуатационной разведки (б). Справа (в) карта разностей отметок кровли

Было установлено, что абсолютные отметки кровли промышленного пласта в межскважинном пространстве после эксплуатационной разведки местами отличаются более чем на 40 метров от отметок по данным разведки (как в положительную, так и в отрицательную стороны). Аналогичные результаты получены и при сопоставлении карт изоглубин кровли промышленного пласта (рис. 2). Следовательно, на стадии разведки, проводимой с поверхности земли, предвидеть глубину залегания промышленных пластов между скважинами весьма сложно.



Уточнить пространственное положение кровли (глубину залегания) можно с помощью геофизических методов, но часто бывает так, что на интересующей площади геофизические работы либо не проведены, либо проведены в недостаточном объеме.

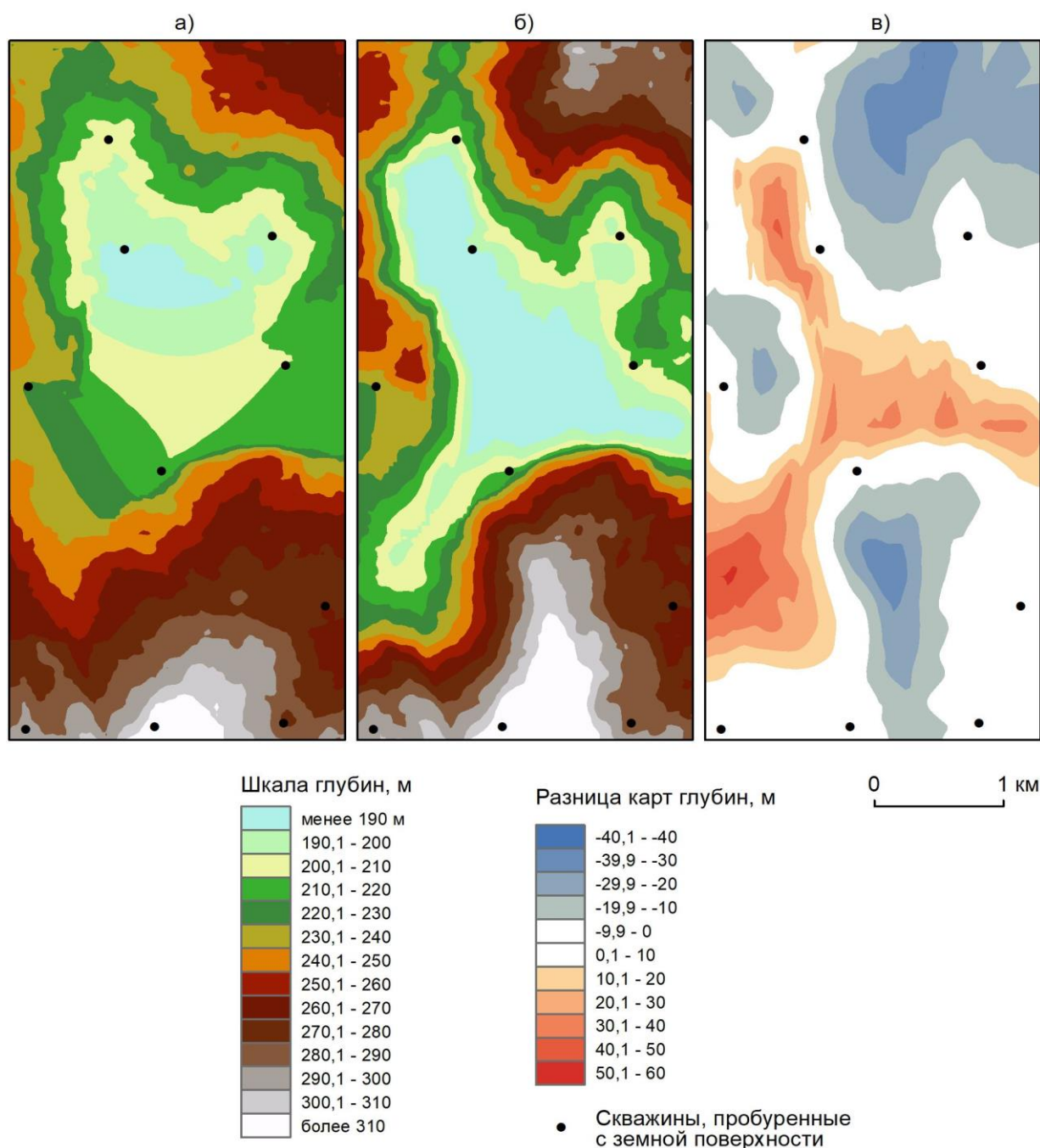


Рис. 2. Фрагменты карт изоглубин кровли промышленного пласта, отстроенных по данным солеразведочных скважин, пробуренных с поверхности земли (а), и по данным эксплуатационной разведки (б). Справа (в) карта разностей глубин залегания кровли

В подобных ситуациях для создания более надежного представления о глубинах залегания полезного ископаемого следует принимать во внимание характер рельефа земной поверхности. Учитывая особенности рельефа, появляется возможность существенно уточнить глубины залегания полезного ископаемого на

межскважинных расстояниях. Методически это сводится к следующим операциям.

Для вычисления глубин залегания промышленного пласта необходимо из топографической карты земной поверхности вычистить структурную карту его кровли. Желательно, чтобы карты имели примерно одинаковую детальность. Однако по данным редких разведочных скважин построить детальную структурную карту пласта не представляется возможным, а вот сведений о рельефе земной поверхности может быть намного больше.

Раньше вычитание одной карты из другой было весьма трудоемким и утомительным процессом. Сейчас, с внедрением компьютерных технологий, операция значительно упростилась – достаточно иметь цифровую основу карт, участвующих в вычислениях, и соответствующую компьютерную программу. В рассматриваемом авторами примере все картографические действия проводились с использованием программы ArcGIS.

На действующие рудники, как правило, есть хорошая топографическая основа, но когда участок неосвоенный, нормальная цифровая топографическая основа на него часто отсутствует. Даже если и имеются топографические планы на бумажных носителях, то их оцифровка – занятие довольно трудоемкое, а в перспективе бесполезное, поскольку на первых этапах разведки закладывается топографическая съемка нужных масштабов, в результате которой потом создаются необходимые цифровые основы рельефа. На стадии же проектирования геологоразведочных работ или предварительных заключений о целесообразности их проведения можно воспользоваться цифровыми моделями земного рельефа, находящимися в открытом доступе.

Цифровые модели обладают разной точностью отражения рельефа [1, 2]. Для исследования на конкретной площади была выбрана цифровая модель SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) с разрешением 30 метров. Детально были определены величины погрешностей данной цифровой модели. Для этого на площади исследования около 100 км<sup>2</sup> с топографической карты масштаба 1 : 25 000 были сняты все подписанные максимальные и минимальные высотные отметки рельефа. Сеть наблюдений образовала ячейки размером примерно 1 × 1 км, количество точек составило 105 (n=105). Для этих же точек из SRTM-модели извлечены числовые данные о высотных отметках (рис. 3). Были рассчитаны статистические показатели распределения разностей значений высотных отметок (таблица).

График сопоставления высотных отметок рельефа (рис. 4а) показывает, что высотные отметки по SRTM-модели на площади систематически больше отметок по топографической карте масштаба 1 : 25 000. Причиной систематического завышения высотных отметок рельефа на модели является, с большой долей вероятности, практически полная залесенность рассматриваемой площади.

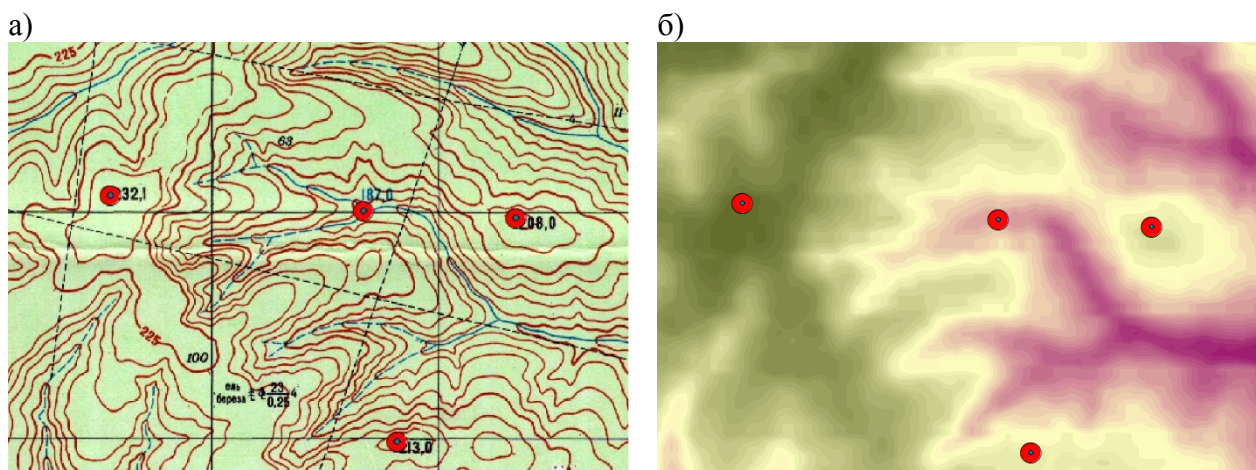


Рис. 3. Фрагмент площади исследования с точками (красные точки) определения высотных отметок по топографической карте (а) и по SRTM-модели (б)

Таблица. Статистические показатели распределения разностей отметок рельефа

Статистический показатель	Значение
Средняя абсолютная отметка по топографической карте, м	205,9
Среднее абсолютная отметка по SRTM-модели, м	216,5
Разница средних высотных отметок, м	10,6
Дисперсия отметок, м <sup>2</sup>	573,35
Среднеквадратичное отклонение, м	23,94
Коэффициент вариации	11,06
Абсолютная ошибка средней, м	2,34
Относительная ошибка средней, %	1,08
Доверительный интервал, м	7,92

Далее, если во все высотные отметки SRTM-модели ввести поправку, равную среднему арифметическому разностей пар значений отметок (10,6 м), то на графике поле точек SRTM-модели смещается вниз по оси ординат и практически целиком вписывается в доверительный интервал (рис. 4б). Такая корректировка совокупности высотных отметок позволяет получить макет рельефа, наиболее приближенный к топографической карте.

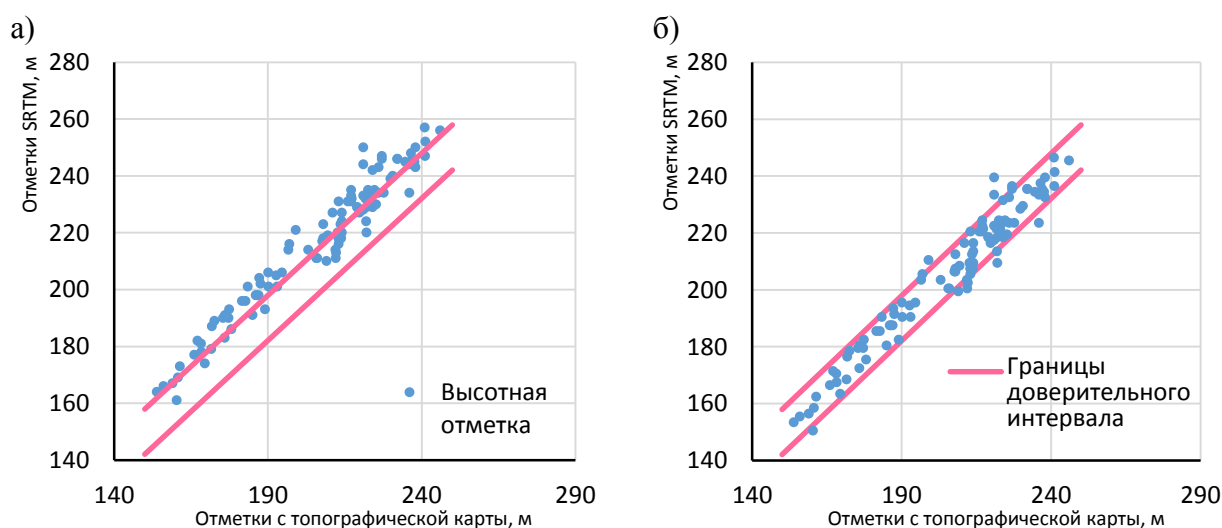


Рис. 4. График сопоставления высотных отметок, снятых с топографической карты и с SRTM-модели, без корректировки (а) и с корректировкой (б)



В выборки можно дополнительно добавлять данные о высотных отметках устьев скважин, привязка которых обычно проводится с достаточной точностью для выноски на планы высокой детальности. Однако на площадях с низкой степенью разведанности, где солеразведочные скважины пробурены по редкой сети, либо скважин нет вообще, привлечение отметок устьев скважин существенно не повысит представительность выборки.

Исследование показывает, что карты изоглубин в условиях Верхнекамского месторождения солей на участки, где еще нет полноценной топографической основы или ее использование по каким-либо причинам ограничено, можно строить с использованием данных SRTM, учитывая при этом систематическую погрешность определения высотных отметок рельефа. Будущие цифровые модели рельефа будут, конечно, более точными, но на современном этапе при принятии решений о постановке геологоразведочных работ вполне можно использовать предложенный алгоритм с использованием общедоступной SRTM-модели рельефа Земли.

#### **Библиографический список**

1. *Rodriguez E., Morris C.S., Belz J.E., et al. (2005). An Assessment of the SRTM Topographic Products. JPL Pub. D31639: 143.*
2. *Оньков И.В. Оценка точности высот SRTM для целей ортотрансформирования космических снимков высокого разрешения // Геоматика, 2011. № 3. С. 40-46.*

## **ПОРФИРОВЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ КАК АВТОМЕТАСОМАТИЧЕСКИЕ ОБРАЗОВАНИЯ**

Проанализировано строение, условия образования, состав и место в генетической классификации медно- и молибден-порфировых месторождений. Показано, что они образуются в результате автометасоматических процессов преобразования *i*-гранитов. Порфировые месторождения следует рассматривать в группе метасоматических, классе автометасоматических, подклассе кварц-аргиллизитовых.

**Ключевые слова:** медно-порфировые месторождения, автометасоматоз, генезис.

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

## **PORPHYRY DEPOSITS AS AUTOMETASOMATIC FORMATIONS**

The structure, conditions of formation, composition and place in the genetic classification of copper- and molybdenum-porphyry deposits are analyzed. It is shown that they are formed as a result of the autometasomatic transformation processes of *i*-granites. Porphyry deposits should be considered in the metasomatic group, the autometasomatic class, and the quartz-argillite subclass.

**Keywords:** porphyry copper deposits, autometasomatosis, genesis.

Порфировые месторождения прожилково-вкрапленных руд во вторичных кварцитах, расположенные в приконтактной зоне интрузий гранодиорит-порфиров играют важную роль в мировой экономике медно-рудного и молибдено-рудного сырья. Ранее они рассматривались в составе гидротермальной группы месторождений, в которой входили в плутоногенный класс, подкласс кварцевого парагенезиса [5]. Анализ геологического строения, вещественного состава и генезиса месторождений позволил включить их в другую метасоматическую группу в класс автометасоматических месторождений [2]. Порфировые месторождения располагаются в складчатых поясах, где они формируются на субдукционной стадии развития активных окраин континентов. Положение месторождений определяется телами гипабиссальных *i*-гранитов, которые включают гранодиорит-порфиры и монзонит-порфиры. Образование гранитоидов связывают с фракционированием базальтовой магмы. Наиболее крупные месторождения располагаются вдоль приконтинентальных окраин, подобных Андским и Кордильерским. Менее крупные объекты встречаются на островодужных окраинах япономорского типа.

Месторождения представляют собой участки апикальных выступов метасоматически переработанных гранитоидов среди вмещающих их горных пород. По мере удаления от центра интрузии метасоматиты образуют следующий ряд зо-

нальности: внизу – вторичные кварциты с микроклином, выше – вторичные кварциты с серицитом, далее – аргиллизиты и пропилиты (рис. 1). Во вторичных кварцитах преобладает кварц, в аргиллизитах – каолин, в пропилитах – хлорит и эпидот. Тела полезных ископаемых представляют собой штокверки из окварцованных гранитоидов, содержащие многочисленные вкрапленники полезных минералов, образующих прожилково-вкрапленную текстуру. В горизонтальном сечении размеры штокверков могут достигать первых километров, а в вертикальном – нескольких сот метров.

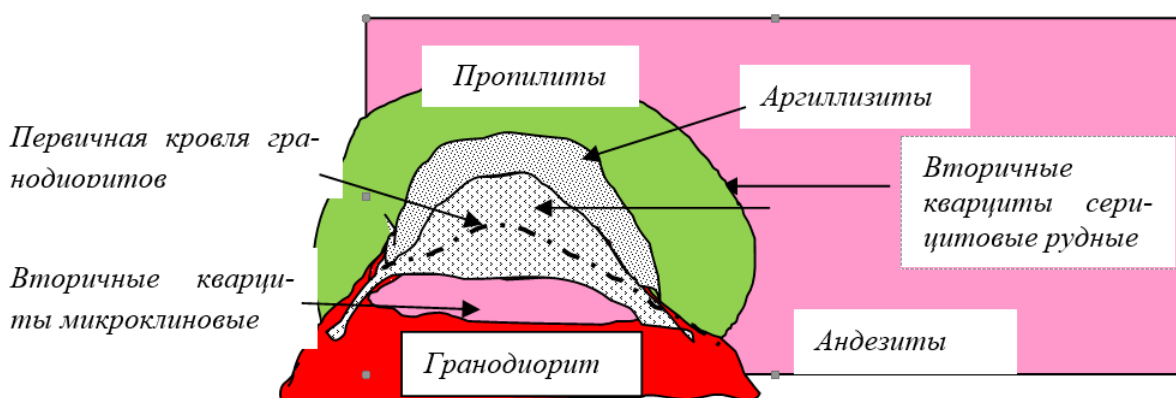


Рис. 1. Схема зонального размещения автометасоматических пород в кровле интрузива гранодиорит-порфиров, залегающего в андезитах (по F.J. Sawkins, 1990, с изменениями)

Состав главных элементов полезных ископаемых характеризуется ассоциацией сидерофилов (Mo, Fe) и халькофилов (Cu), которые по петрологическим свойствам относятся к базальтофилам (Cu, Fe) и андезитофилам (Mo) [3]. Элементы, образуют парагенезис сульфидных минералов: пирит-халькопирит-молибденит. В размещении оруденения, как и метасоматических пород, отмечается зональность. Самые высокотемпературные микроклиновые кварцевые метасоматиты образуют безрудное ядро месторождения. Эндоконтактовые серицитовые вторичные кварциты по гранодиоритам отличаются максимальной медной минерализацией. Для экзоконтактовых кварцитов характерна преимущественная пиритовая минерализация, образующая пиритовую оболочку. В аргиллизитах и пропилитах присутствует слабое свинцово-цинковое оруденение. В соответствии с составом главных полезных минералов различают собственно медные и медно-молибденовые месторождения.

Месторождения **медно-порфирового типа** характеризуются крупными запасами руды, измеряемыми десятками миллионов и миллиардами тонн при относительно низком содержании меди (0,2–2,0%). Вовлечению месторождений в разработку способствует возможность валовой добычи руды.

Самые крупные месторождения распространены в мезо-кайнозойском медном поясе Кордильер и Анд, например *Чукикамата* (Чили), *Бингем* (США). В герцинском Урало-Монгольском поясе присутствуют месторождения *Михеевское* (Россия), *Коунрад*, *Бощекуль* (оба Казахстан), *Алмалык* (Узбекистан), *Эрденет* (Монголия), в альпийском Кавказском поясе – *Каджаран*, *Агарак* (Армения).

В залежах медно-порфировых руд особую ценность представляют руды зоны вторичного сульфидного обогащения, залегающие в коре выветривания. В них содержания меди увеличиваются в 1,5–2 раза по сравнению с первичными рудами.

В России в Челябинской области разрабатывается *Михеевское* месторождение (Cu 0,37%), подготавливается к эксплуатации *Томинское* (Cu 0,46%). В Республике Тыва подготавливается месторождение *Ак-Сугское* (Cu 0,67%), в Хабаровском крае разведывается *Малмыжское* (Cu 0,41%), в Чукотском АО – *Песчанка* (Cu 0,53%; Ag 4,6 г/т). На большинстве объектов планируется попутное извлечение Mo, Au, Ag, Re [1].

**Молибден-порфировый тип** месторождений характеризуется наличием жильково-вкрапленных штокверковых руд во вторичных кварцитах и содержит крупные мировые запасы молибдена. Характерна связь с гранитоидами, наличие зон гидротермально измененных пород в виде калиевых метасоматитов (зоны микроклинизации), окварцевания и аргиллизации (рис. 2).

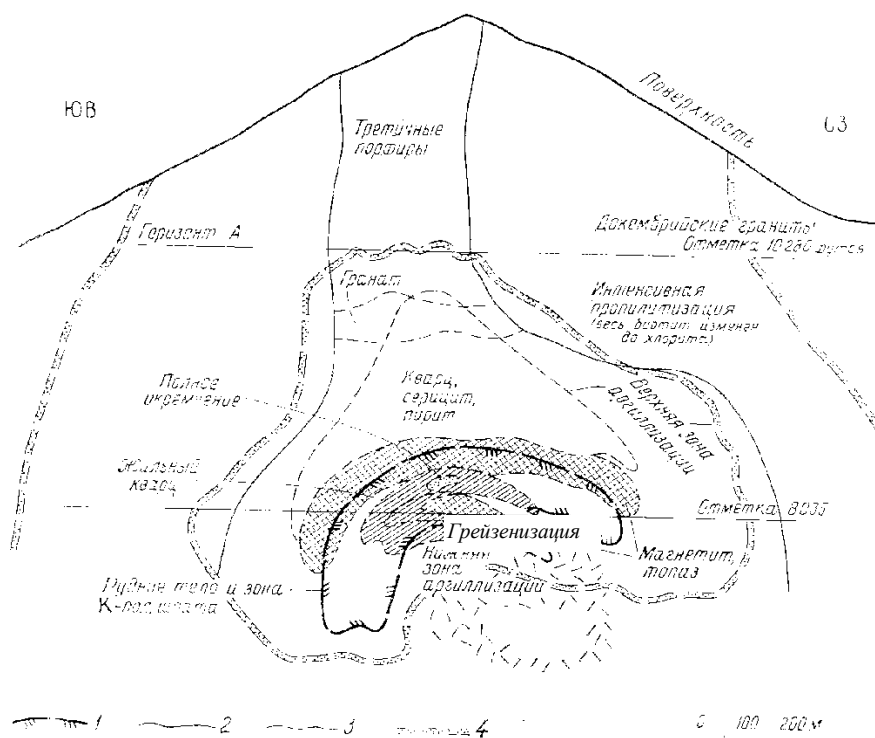


Рис. 2. Зоны метасоматических изменений на месторождении Хендерсон: 1 – контур рудного тела (содержание  $\text{MoS}_2$  более 0,3%; 2 – контакт тела палеоген-неогеновых гранит-порфиров с докембрийскими гранитами; 3 – узкая граница зоны изменения (окварцевания и аргиллизации); 4 – широкая граница зоны изменения (пропилитизации) (Уайт и др., 1984)

Крупнейшими представителями типа в мире являются месторождения рудного поля *Клаймекс* в США (Climax-type porphyry molybdenum deposits) [6]. Оно расположено в штате Колорадо вблизи водораздельного хребта Скалистых гор на высоте 3700 м. Это юго-запад Северо-Американской платформы, где по системе разломов на поверхность земли из-под осадочного чехла выходит выступ архейско-раннепротерозойского фундамента. К югу выступ переходит в рифтовую систему Рио Гранде, формирование которой началось 85 млн лет назад

(поздний мел) и продолжалось до 26 млн лет (олигоцен) [7]. Выступы фундамента на западе отделяются от палеозойских пород осадочного чехла платформы крупным сбросом Москито.

Залежи молибдена сосредоточены в восточном взброшенном борту сброса среди докембрийских пород. Рудное поле включает три месторождения, располагающиеся по линии северо-восточного простирания длиной 160 км. Это Маунт-Эммонс на юго-западе, Клаймакс в центре и Хендерсон на северо-востоке. Положение рудного поля фиксируется отрицательной гравитационной аномалией Буге в 300 мГал.

Месторождения связаны с выходами высококремнезёмистых богатых щелочами гипабиссальных пород: риолитовых порфиров и гранит-порфиров. Гранитоиды с возрастом 33–17 млн лет (олигоцен – нижний миоцен,  $E_3 - N_1^1$ ) в виде штокообразных тел прорывают докембрийские породы фундамента. В гранитоидах преобладает калий над натрием, присутствуют фторсодержащие минералы: флюорит, топаз, фторсодержащий барит. Изотопно-геохимические исследования свидетельствуют о том, что магматические породы представляют собой дифференциаты материнских магм, образовавшиеся при фракционном плавлении мафических или диоритовых магм в мантии или нижней части коры в постсубдукционной обстановке на стадии релаксации. Каждое месторождение расположено в интрузивном куполе, поэтому рудные штокверки приобрели подковообразную форму (см. рис. 2).

Рудоносные флюиды были обогащены NaCl (65%), отложение молибденита происходило при температуре 500–650°C. Давление флюидов на 150–200 бар превосходило литостатическое, чем была обусловлена сильная трещиноватость пород штокверка.

Для месторождений характерна интенсивная автометасоматическая переработка пород. На месторождении Хендерсон намечается следующая метасоматическая зональность: под рудным телом находится наиболее высокотемпературная зона грейзенизации, выше в пределах рудного тела располагаются зоны калиевого метасоматоза, далее – жильного кварца и полного окремнения пород. Топаз-магнетитовая зона тяготеет к кровле рудного тела. Над рудным телом в виде купола залегают серицитовые вторичные кварциты с пиритом. Все перечисленные зоны вместе с рудным телом окружены аргиллизитами (монтмориллонит-каолинит-серицитовыми) и далее по периферии на расстоянии до 200–300 м – ореолом пропилитизации. Причем, пропилитизацией затронуты и вмещающие докембрийские граниты.

Таким образом, главное полезное ископаемое – молибденит – сосредоточено преимущественно в кварцевых жилах и прожилках, содержащих в виде примеси полевой шпат и флюорит. Попутно из руды извлекают гюбнерит ( $MnWO_4$ ), касситерит, пирит.

В России разрабатываются *Сорское* месторождение в Республике Хакасия с содержанием молибдена в руде 0,061 %, на которое приходится основная добыча в России, *Жирекенское* в Забайкальском крае (содержание 0,105 %). Подготавливаются к эксплуатации *Агаскырское* в Республике Хакасия (содержание 0,05 %), *Бугдаинское* в Забайкальском крае (содержание 0,08 %). В нераспределённом

фонде находятся Ореkitанское месторождение в Республике Бурятия (содержание 0,099 %) и Лобаш в Республике Карелия (содержание 0,069 %).

Переходя к характеристике положения месторождений в генетической классификации, отметим. Нами среди месторождений эндогенной серии выделяются три группы: магматическая, метасоматическая и гидротермальная (табл. 1).

Описанные выше продукты метасоматоза представляют собой результаты процесса реакционного приспособления состава горной породы к изменению физико-химических условий её существования [4]. К *метасоматической группе* отнесены месторождения, образовавшиеся в результате локального метасоматоза (табл. 1), что отличает их от продуктов регионального метасоматоза. Они образуются под влиянием флюидов, действующих в приконтактной зоне охлаждающихся магматических и нагреваемых вмещающих пород. Формирование метасоматитов может происходить при двух различных условиях миграции флюидов (рис. 3).

Таблица 1. Общая характеристика генетических групп месторождений эндогенной серии универсальной классификации [2]

Серия	Группа	Генетический процесс	Фазовое состояние среды минералообразования	Геологические условия размещения	Характерные полезные ископаемые
А. Эндогенная	<b>I. Магматическая</b>	Магматический	Магматический расплав и флюиды	Комплексы магматических пород	<b>Ультраосновные и основные породы:</b> руды хрома, ванадия, платины; алмазы. <b>Щелочные породы:</b> нефелин, апатит, руды ниобия, циркония. <b>Пегматиты:</b> руды лития, бериллия
	<b>II. Метасоматическая</b>	Метасоматический	Пар, гидротермальный раствор	Периферия интрузий кислых или щелочных пород, гранито-гнейсы	<b>Автометасоматоз:</b> руды олова, вольфрама, молибдена, меди <b>Контактный метасоматоз:</b> руды железа, вольфрама и молибдена, свинца и цинка
	<b>III. Гидротермальная</b>	Гидротермальный	Гидротермальный раствор	Магматические, осадочные и метаморфические породы	Руды золота, меди, полиметаллов, сурьмы и ртути

В результате оказываются два способа локального метасоматоза и два класса месторождений метасоматической группы: автометасоматический и контактово-метасоматический. В автометасоматический класс наряду с известным альбитит-грейзеновым подклассом предлагается включить кварц-аргиллизитовый подкласс (табл. 2).

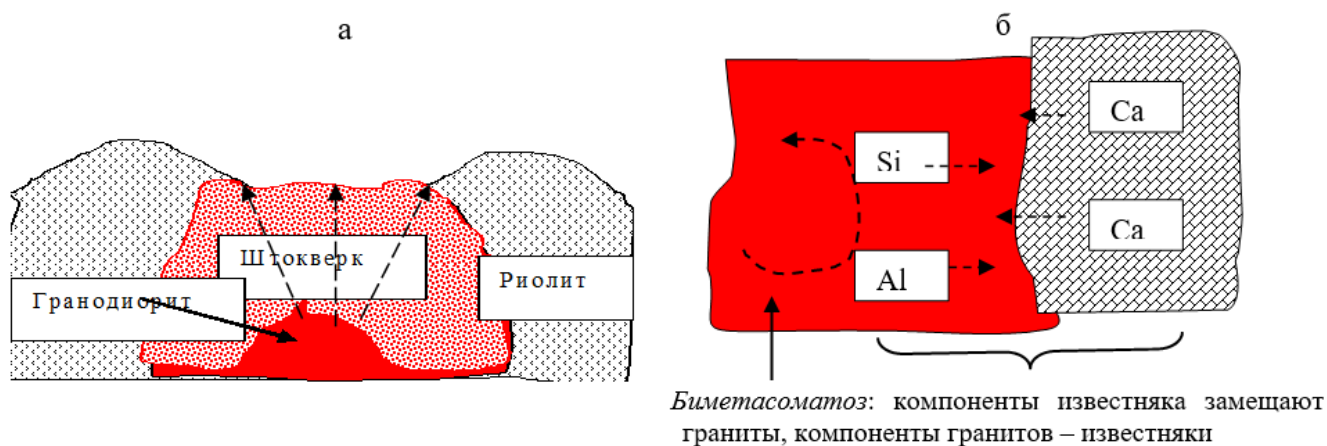


Рис. 3. Способы формирования локальных метасоматитов: а) при однонаправленной миграции флюидов от магматического очага образуются аутометасоматиты; б) при разнонаправленной – контактовые метасоматиты

Таблица 2. Генетическая классификация месторождений аутометасоматического класса

Класс	Подкласс	Ряд	Генетический тип	Пример
1. Авто-метасоматический	Альбитит-грейзеновый	Лейкогранитовых альбититов	Колумбит-танталитовый	Каффа, Нигерия
			Барилитовых фенитов	Сил-Лейк, Канада
		Лейкогранитовых грейзенов	Молибденит-вольфрамитовый	Караоба, Казахстан
			Касситерит-кварцевый	Правоурмийское, Хабаровский край
			Флюоритовых грейзенов	Солнечное, Казахстан
			Берилл-изумрудноносных флогопитовых слюдитов	Изумрудные копи (Малышевское)
	Кварц-аргиллизитовый	Гранодиоритовых кварцитов	Медно-порфировый	Коунрад, Казахстан
			Молибден-порфировый	Кляймекс, США

### Библиографический список

1. Государственный доклад о состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2018 году / Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации. М., 2019. 422 с.
2. Ибламинов Р.Г. Геология месторождений полезных ископаемых: учеб. пособие / Перм. гос. ун-т. Пермь, 2019. 232 с.
3. Ибламинов Р.Г. Петрологическая классификация химических элементов // 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; Горный ин-т УрО РАН. Пермь, 2021. Вып. 24. С. 79 – 87.
4. Петрографический кодекс России. Магматические, метаморфические, метасоматические, импактные образования. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2009. 200 с.
5. Смирнов В.И. Геология полезных ископаемых. М.: Недра, 1989. 326 с.
6. Уайт У., Букстром А.А., Камилли Р.Дж., Ганстер М.В., Смит Р.П., Ранга Д., Стейнгер Р. Основные черты и происхождение молибденовых месторождений типа кляймекс // Генезис рудных месторождений. М.: Мир, 1984. Т. 1. С. 334–409
7. Sowkins F. J. Metal Deposits in Relation to Plate Tectonics. 2-d Revised. Springer-Verlag. Berlin, 1990. 461 p.
8. Ибламинов Р.Г. К вопросу о методологии изучения и классификации месторождений полезных ископаемых // Вестник Пермского университета. Геология. 2020. Т. 19. № 3. С. 282–301.

## **ВАГРАНСКИЙ ЗОЛОТОНОСНЫЙ РОССЫПНОЙ УЗЕЛ: ПЕРСПЕКТИВЫ ВЫЯВЛЕНИЯ КОРЕННОГО ОРУДЕНЕНИЯ**

Вагранский россыпной узел расположен на Северном Урале в приосевой части Уральской складчатой структуры. В пределах узла выявлены и отработаны более десятка россыпей золота, при этом коренные источники россыпей до сих пор не обнаружены. Изучение типоморфных особенностей шлихового золота узла (морфология, химический состав основной массы и включений, характер гипергенных изменений) позволяет прогнозировать локализацию и тип возможных коренных золоторудных объектов узла, а также реконструировать историю его развития в позднем мезозое – кайнозое.

**Ключевые слова:** золото, россыпи, коренное оруденение, Вагранский узел, Северный Урал.

**A.V. Lalomov**  
Perm State University, lalomov@mail.ru

## **VAGRAN GOLD-BEARING PLACER CLUSTER: PROSPECTS FOR THE REVEALING OF PRIMARY MINERALIZATION**

The Vagran placer cluster is located in the Northern Urals in the axial part of the Ural folded structure. More than a dozen placers of gold have been identified and worked out within the cluster, while the primary sources of placers have not yet been discovered. The study of the typomorphic features of the placer gold (morphology, chemical composition of the bulk and inclusions, the nature of supergenic changes) makes it possible forecasting of localization and type of possible primary gold ore objects of the cluster, as well as to reconstruct the history of its development in the late Mesozoic – Cenozoic.

**Keywords:** gold, placers, primary mineralization, Vagran cluster, Northern Urals.

Детальное исследование типоморфизма шлихового золота, что включает в себя изучение морфологии, химического состава основной массы и включений, структуры и характера гипергенных изменений, позволяет делать выводы о характере и локализации коренных источников россыпей. Это дает возможность оценивать перспективы как россыпной, так и коренной минерализации площадей ранга золоторудных районов, полей и узлов. Актуальность таких исследований определяется тем, что для многих россыпных площадей коренные источники не известны, либо не соответствуют по масштабам и типоморфизму золота россыпных проявлений.

За более чем столетний период отработки россыпей Вагранского узла, расположенного в пределах Северного Урала, добыто более 10 т золота, но проблемы источников золотых россыпей и возможности наличия промышленных месторождений коренного золота на данной территории остаются до сих пор не решенными. Предполагается, что россыпное золото было высвобождено из коренных пород еще на стадии мезозойской пенеппенизации Уральского складчатого



пояса и переотложено в образования четвертичного аллювиального комплекса через системы кор выветривания и эрозионно-структурных депрессий.

Проведенное в пределах Вагранского узла шлиховое опробование и комплексное исследование россыпей и геоморфологии участка позволили установить основные этапы эволюции россыпного узла позднем мезозое – кайнозое в условиях развития экзогенных процессов, выявить главные типы источников россыпей, а также охарактеризовать и локализовать возможные зоны коренной минерализации [3].

Район исследования расположен на Северном Урале в пределах Ашкинской и Сурьинско-Промысловской минерагенических зон, граница между которыми проходит по региональному меридионально ориентированному разлому. В обеих рудных зонах развиты породы черносланцевой формации – в Ашкинской – верхнерифейского, а в Сурьинско-Промысловской – преимущественно ордовикского возрастов. В тектоническом плане область относится к Вишерско-Кутимскому антиклинорию [6].

Крупных золоторудных источников в пределах Вагранского узла в настоящее время не выявлено. Одиночные кварцевые жилы с содержаниями сульфидов до 0.5–2 %, представленных пиритом, реже халькопиритом и теннантитом, показывают слабую, но повсеместную золотоносность с содержаниями золота до 0.2 г/т, редко до 2–5 г/т. Кроме этого, слабая золотоносность (до 0.5–1 г/т) сопровождается линейные зоны рассланцевания и пиритизации, участки смятия, дробления в метаморфических сланцах и листовитоподобные зоны гидротермально измененных пород [5].

Сурьинское проявление золото-сульфидно-кварцевого типа расположено в верховьях р. Сурья и представлено зоной прожилково-вкрапленной минерализации пирита, халькопирита, сфалерита, блеклых руд и других сульфидов, сульфидарсенидов, теллуридов с содержаниями золота до 8 г/т и платины до 3.7 г/т. [6]. Предполагается, что кварцево-жилные тела с минерализацией золото-сульфидно-кварцевого типа, послужившие источниками россыпей юрского, раннемиоценового и четвертичного возраста, на аналогичных рудопроявлениях на уровне современного эрозионного среза большей частью оказались эродированными [1].

На полевом этапе были исследованы геоморфология и литология россыпьевмещающих отложений в долинах рек Вагран, Сурья, Тулайка, Еловка и их притоков. На площади приблизительно 400 км<sup>2</sup> было произведено шлиховое опробование аллювиальных, ложковых, склоновых и элювиальных отложений как в пределах современных и отработанных карьеров, так и в естественных эрозионных обрывах и в русловом материале природных водотоков. Пробы весом около 20 кг проходили ситование (-5мм) и пробуторку до полного удаления глинистых классов отложений, после этого промывались лотком до черного шлиха, из которого золото извлекалось разделением в тяжелой жидкости в лаборатории ИГЕМ РАН. Всего в пределах Вагранского узла промыто 20 проб в 12 точках наблюдения (рис. 1).

Полученное золото было описано под биноклем и классифицировано по морфологии. Основные морфологические типы зерен были сфотографированы

на сканирующем электронном микроскопе GSM 5610LV и исследованы в полированных пашках с использованием микрозондового анализатора JEOL JXA-8200 (Япония) в Центре коллективного пользования (ЦКП) «ИГЕМ-Аналитика».

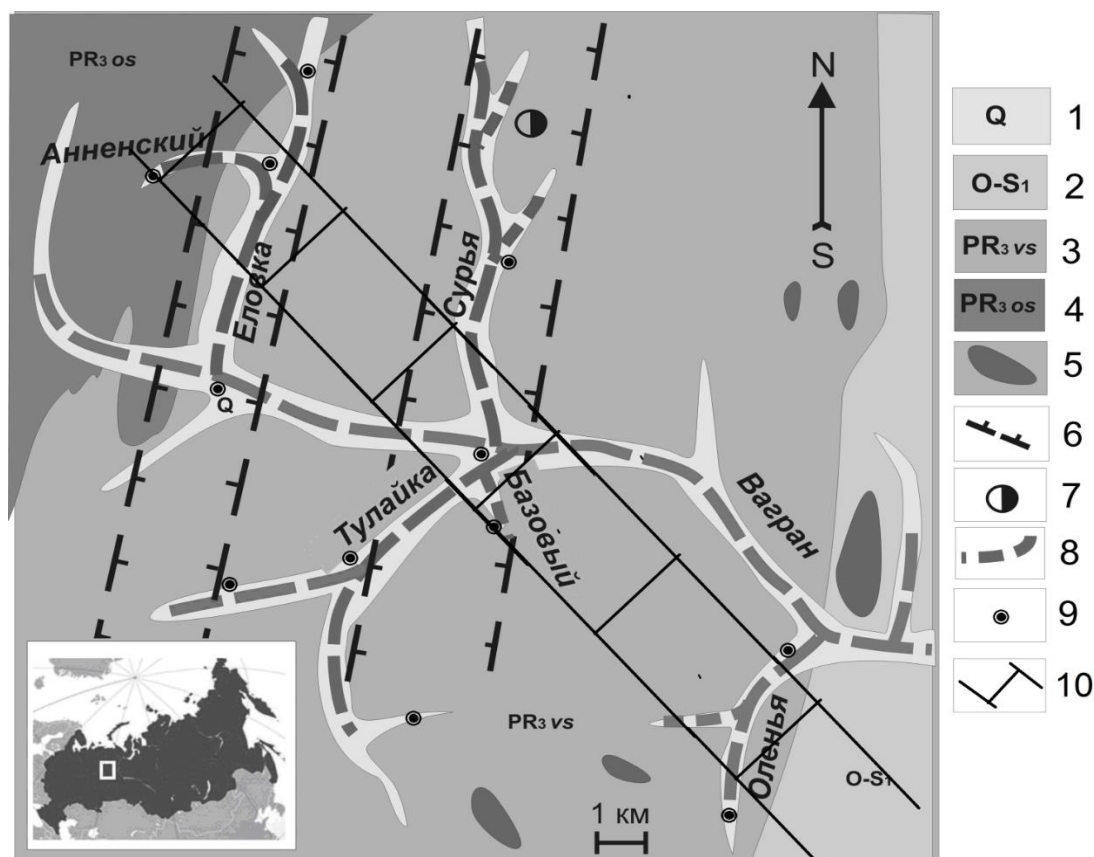


Рис. 1. Геологическая карта Вагранского россыпного узла по материалам «Отчета о геолого-разведочных работах на Вагранском месторождении россыпного золота» по материалам (Никольский и др., 1967) с элементами россыпной металлоносности (Lalomov et al., 2017, с изменениями и дополнениями). 1 – четвертичный аллювий, 2 – вулканогенно-осадочные отложения ордовика и нижнего силура, 3, 4 – метаморфизованные отложения верхнерифейского возраста: 3 – карбонатно-черносланцевая толща с эффузивами основного состава (висимская свита), 4 – кварциты и песчаники (ослянская свита); 5 – малые интрузии габбро-долеритов, 6 – зоны наложенных эрозионно-структурных депрессий, 7 – рудопроявления золота, 8 – россыпи золота, 9 – точки опробования, 10 – предполагаемая зона развития гипогенно-гипергенной минерализации.

При детальном исследовании частиц золота были выделены 4 типа различающихся морфологией и химическим составом золотин.

Тип I (рис. 2а) представлен средне- и хорошоокатанными зернами преимущественно округлой формы с шероховатой, реже сглаженной поверхностью, с частыми царапинами и следами волочения. Пробность золота преимущественно высокая – от 880 до 980, в среднем 930. В примесях преобладает серебро (в среднем 6.2 мас.%, до 11.6 мас.%), присутствует медь до 1.08 мас.%.

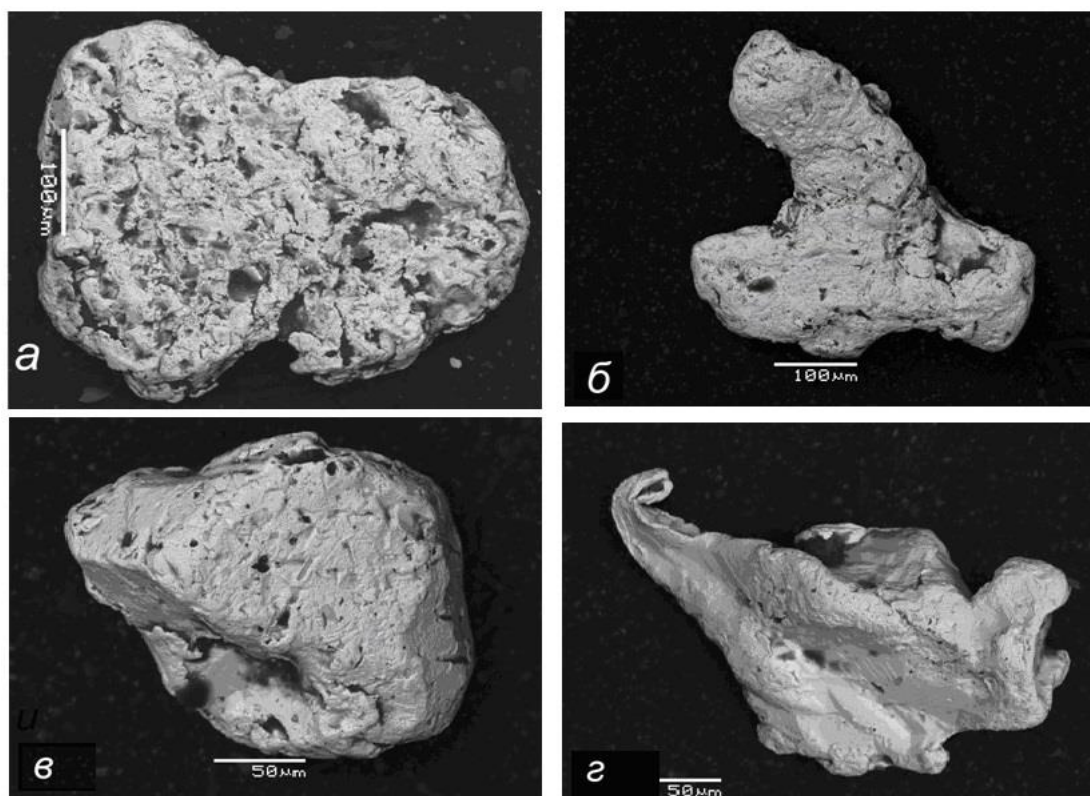


Рис. 2. Типы шлихового золота Вагранского узла. а – хорошо- и среднеокатанное высокопробное (тип I); б – средне- и плохоокатанное высокопробное (тип II); в – идиоморфное и интерстициальное, высокопробное (тип III); г – плохоокатанное, средне- и низкопробное, с повышенным содержанием серебра и ртути (тип IV).

Золото второго типа (II) (рис. 2б) представлено средне- и плохоокатанными зернами с шероховатой сглаженной поверхностью. Форма золотин преимущественно дендритовидная, проволоочная, листовидная. По химическому составу зерна схожи с типом I, отмечается только несколько повышенное содержание серебра – среднее около 8 мас.%,.

В зернах первого и второго типов встречаются высокопробные каймы шириной от 10 до 40 микрон и пробностью в пределах 967–997 (в среднем 986). Граница между ядром и каймой, как правило, отчетливая, наблюдается их резкое различие по составу, что свидетельствует о нарастании каймы с появлением нового золота в противоположность процессу выщелачивания примесей [7,9]. Коэффициент неоднородности (coefficient of heterogeneity), рассчитанный как отношение пробностей золота в центральной и краевой частях золотин, равен 1.06.

Золото типа III (рис. 2 в) имеет четко выраженные грани с умеренными следами окатанности, что характеризует его кристаллическую или интерстициальную морфологию. Внутренняя структура однородная, по составу не отличаются от состава внутренних частей зерен I и II типа.

Зерна типа IV (рис. 2 г) значительно отличаются от всех остальных как по морфологии, так и по составу. Они представлены плохоокатанными и неокатанными угловатыми золотишками с гладкой и раковистой поверхностью. Иногда острые края загнуты. Пробность зерен преимущественно средняя и низкая (571–901, в среднем 828) за счет повышенного содержания серебра, медь отсутствует, содер-

жание ртути достигает 1.15 %. Внутренняя структура однородная, но встречаются включения алюмосиликатов (идиоморфных зерен альбита) и нитевидные прожилки, обогащенные ртутью (до 2.3 вес. %). В единичных плохоокатанных зернах наблюдаются очень контрастные (отношение пробности в кайме и в центре зерна изменяется в пределах 1.68–1.76) и тонкие (3–5 мк) высокопробные каймы [4].

Выявленные типоморфные особенности шлихового золота, закономерности его изменчивости по площади узла, а также установленные особенности эволюции рудно-россыпной системы позволили определить особенности локализации и генетические типы источников россыпного золота, оценить имеющийся россыпной потенциал и перспективы выявления промышленной коренной минерализации.

О двух типах источников свидетельствует двухмодальное распределение золота по пробности: значения 920–960 характерно для всей площади за исключением юго-восточной части узла (бассейна р. Оленья), где пробность золота составляет 820–840, и в россыпи р. Вагран ниже впадения Оленьей – 850.

Типы I, II и III распространены по всей территории узла. Они имеют признаки переноса и длительного нахождения в зоне гипергенеза. Предполагается, что они связаны с размытыми и переотложенными россыпями мезозойского пенеплена, реликты которого встречаются на водораздельных поверхностях Уральской горной системы, и эрозионно-структурных депрессий, положение которых унаследуют крупные водотоки. Золото этих типов связано с эродированными верхними и средними частями рудных тел золото-кварцевого сульфидного или малосульфидного типа [4].

В то же время, в распределении этих типов просматривается ряд закономерностей: дендритовидное, листовидное и нитеобразное средне-плохоокатанное золото второго типа преобладает в центральной части узла – среднем и нижнем течении р. Сурья; на флангах его количество уменьшается. Хорошо окатанное золото первого типа наоборот преобладает на флангах. Такое распределение типов I и II также подтверждает модель локализации первичной минерализации в районе р. Сурья.

Идиоморфное золото типа III пространственно тяготеет к зоне Сосьвинской эрозионно-структурной палеодепрессии. Причина этого не ясна. Окатанность кристаллических форм указывает на некоторое смещение этого типа золота по отношению к коренным источникам. Предполагается, что они относятся к среднеглубинным частям рудных проявлений высокотемпературного жильного золото-кварцевого малосульфидного типа [4].

Тип IV имеет признаки ближнего сноса и относительно короткого времени нахождения в зоне гипергенеза. Он локализуется линейной зоной, проходящей через верхнюю и среднюю часть долины р. Оленья (76.5 % и 45 % соответственно от состава шлихового золота), устье р. Тулайки и руч. Базовый (25–30 %) и долину р. Еловка – руч. Анненский (15.4–17.6 %). Предположительно, это золото связано с минерализацией гипогенно-гипергенного типа, которая приурочена к шовным зонам, разрывным нарушениям и зонам разуплотнения пород. Гипоген-

ная составляющая обусловлена развитием низкотемпературных гидротермальных метасоматитов, гипегенная – наличием кор химического выветривания. Активизация малоглубинных низкотемпературных процессов золотого рудогенеза протекала в несколько стадий: раннемезозойскую ( $T-J_1$ ), позднемезозойскую ( $J_2-K$ ) и кайнозойскую ( $Pg_3-Q$ ), которые в общих чертах совпадали с фазами постколлизийной тектоно-магматической активизации региона [8]. Отличительной особенностью минерализации этого типа является доминирование мелкого и тонкого золота, а также широкий диапазон колебаний пробыности и слабое проявление гипергенных изменений [2,1].

Учитывая возможный вертикальный размах рудной минерализации и эрозионный срез Уральской складчатой системы, можно предположить, что основная часть первичных рудных тел золото-кварцевого типа, послуживших источником россыпей, в настоящее время эродирована и переотложена в систему четвертичных коллекторов. Основные рудные тела были локализованы в Сурьинской зоне, которая совпадает с осевой частью Вишерско-Кутимского антиклинория. Выявленное Сурьинское рудопроявление предположительно является корневой частью этой минерализованной зоны.

Минерализация, послужившая источником россыпного золота четвертого типа, локализуется в диагональной (по отношению к складчатым структурам Урала) зоне СЗ-ЮВ простирания (см. рис. 1) и в бассейне р. Оленья, а также в россыпи р. Вагран ниже устья р. Оленья составляет значительную часть от состава россыпного золота. Выявленная зона не имеет связи с элементами геологического строения, показанными на геологической карте масштаба 1:50 000 (Новицкий и др., 1967), но совпадает с преобладающей ориентировкой мелких водотоков и общераспространенной системой разрывных нарушений, диагональных по отношению к направлению сил сжатия, имеющих (для Урала) субширотный характер. Предполагается, что эта структура контролирует зону наложенных гидротермально-метасоматических процессов постколлизийной (мезозойской) тектоно-магматической активизации, вскрытую на этапе формирования современного рельефа, из которой происходит поступление золота четвертого типа. Неокатанная и плохоокатанная форма золотинок этого типа и слабое развитие высокопробных кайм указывает на короткий срок пребывания этих частиц в зоне гипергенеза и незначительное перемещение золота от первичного источника.

Помимо россыпных проявлений, в днище и бортах карьеров были взяты пробы жильного кварца и окварцованных сланцев. Кварц, отобранный в долине Оленьей, обохренный, кавернозный, сильно разрушенный, со следами выветрелых сульфидов. Видимое золото в протоочне не было обнаружено, но ИСП МС анализ показал присутствие в штуфной пробе рудного золота с содержанием на уровне 6.9 ppm. В окварцованных сланцах, отобранных в плотике россыпи в карьере Еловка в устье ручья Анненский, видимого золота и сульфидов не обнаружено, но содержание золота по данным ИСП МС равно 2 ppm. Содержание серебра 3.6–1.7 ppm и ртути 0.05–0.1 ppm в обеих этих пробах указывает на его возможную связь со шлиховым золотом типа IV.

Таким образом, исследование россыпной металлоносности Вагранского золотоносного узла (Северный Урал) продемонстрировало неоднородность типоморфизма шлихивого золота, что указывает на наличие двух типов коренного золоторудного оруденения. Основным источником россыпей послужило оруденение золото-кварцевой сульфидной формации, которое, по большей части, было эродировано и переотложено в систему современных водотоков через промежуточные коллектора, связанные с корами выветривания и эрозионно-структурными депрессиями. Вторым источником россыпей послужила минерализация гипогенно-гипергенного типа, связанная с зоной наложенной тектоно-магматической активизации северо-западного протирания, проходящей через среднее течение р. Оленья и р. Еловка – руч. Анненский.

В пределах выделенной зоны «Оленья – Еловка» можно рекомендовать постановку поисковых работ на золото гипогенно-гипергенного типа. Наибольшее содержание золота четвертого типа в долине речки Оленья указывает на максимальное вскрытие зоны в этой долине.

#### Библиографический список

1. Баранников А. Г., Азовскова О. Б. Золотоносные объекты гипогенно-гипергенного типа на Урале. Конвергентность признаков их отличия от рудоносных кор выветривания // Известия Уральского государственного горного университета, 2017. № 2. С. 13–22. <https://doi.org/10.21440/2307-2091-2017-2-13-22>.
2. Грязнов О.Н., Баранников А.Г., Савельева К.П. Нетрадиционные типы золото-аргиллитового оруденения в мезозойских структурах Урала // Известия Уральского государственного горного университета. 2007. Вып. 22. С.41–53.
3. Лаломов А.В., Наумов В.А., Григорьева А.В., Магазина Л.О. Эволюция Вагранского золотоносного россыпного узла (Северный Урал) и перспективы выявления коренной минерализации // Геология рудных месторождений. 2020. № 5. С. 450–461. DOI: 10.31857/S0016777020050044
4. Лаломов А.В., Бочнева А.А., Чефранов Р.М. Разработка цифровой системы прогнозирования коренных источников золота по результатам шлихового опробования на примере Вагранского россыпного узла (Северный Урал) // Георесурсы. 2020. 22(2). С. 67-76. DOI: <https://doi.org/10.18599/grs.2020.2.67-76>
5. Новицкий В.Я., Ушаков С.А., Суханов Л.П., и др. Отчет о геологоразведочных работах на Вагранском месторождении россыпного золота с подсчетом запасов по состоянию на 01.07.1967 года. Североуральская комплексная экспедиция, Сосьвинская ГРП. г.Североуральск, пос.Покровск-Уральский. 1967. № ТГФ 30652.
6. Петров Г.А., Александров В.В., Зубков А.И., и др. К проблеме рудоносности черных сланцев Вишерско-Кутимского антиклинария (Северный Урал) // Вестник Пермского университета. Геология, 2015. № 4. С. 32–42.
7. Петровская Н.В. Самородное золото. М.: Наука, 1973. 347 с.
8. Шуб В. С., Баранников А. Г., Шуб И. З. и др. Золото Урала. Россыпные месторождения (к 250-летию золотой промышленности Урала). Екатеринбург: УИФ «Наука», 1993. 135 с.
9. Groen, J.C., Craig, J.R., Rimstidt, J.D. Gold-rich rim formation on electrum grains in placers. Can. Mineral. 1990. V. 28. P. 207–228.
10. 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.

## **ПРОБЛЕМА ПРОМЫШЛЕННОЙ АЛМАЗОНОСНОСТИ ОРДОВИКСКОГО ПРОМЕЖУТОЧНОГО КОЛЛЕКТОРА В ЮЖНОМ ПРИТИМАНЬЕ (ПЕРМСКИЙ КРАЙ)**

В статье рассматриваются перспективы промышленной алмазности ордовикского промежуточного коллектора на основании следующих данных: находки алмазов как в самих отложениях ордовика, так и в оных, слагающих глубокие горизонты кайнозойских депрессий. Промышленной алмазности ордовикского коллектора благоприятствуют поисковые условия для россыпей эолового типа и повышенная алмазность силурийского коллектора, которая рассматривается как унаследованная от ордовикского коллектора.

**Ключевые слова:** Пермский край, ордовик, силур, ветрогранники, промежуточный коллектор, алмаз.

**Yu.G. Paktovsky**  
Perm State University, urijpaktovskij65@gmail.com

## **THE PROBLEM OF INDUSTRIAL DIAMOND-BEARING OF THE ORDOVICIAN INTERMEDIATE RESERVOIR IN THE SOUTHERN CIS-TIMAN (PERM REGION)**

The article discusses the prospects of industrial diamond-bearing of the Ordovician intermediate reservoir on the basis of the following data: diamond finds both in the Ordovician sediments themselves and in the Ordovician sediments composing the deep horizons of the Cenozoic depressions. Industrial diamond content is favored by the prospecting conditions for Aeolian placers in the Ordovician reservoir and the increased diamond content of the Silurian reservoir, which is considered as inherited from the Ordovician reservoir.

**Keywords:** Perm Region, Ordovician, Silurian, windkanter, intermediate collector, diamond.

В настоящее время можно выделить три раннепалеозойских промежуточных коллектора на территории Южного Прикамья, то есть в Красновишерском минералогическом алмазном районе. Это – коллекторы помянновской ( $O_3pl_1$ ), полюдовской ( $O_3pl_3$ ) и колчимской свит ( $S_1kl_1$ ). Из них промышленно алмазным является только последний – силурийский коллектор.

Необходимо отметить, что нигде больше на западном склоне Урала нет такого количества промежуточных коллекторов. И связано это с уникальными условиями геологического развития территории, на которой континентальный режим после коллизии Русской и Печорской плит продлился, пожалуй, дольше всего, около 140 млн лет. Все это время территория подвергалась интенсивной эрозии.



Размывались породы кристаллического фундамента Русской плиты возрастом более 1,8 млрд лет, терригенные и карбонатные отложения позднего рифея и венда возрастом около 1,0–0,5 млрд лет. Об уровне эрозионного среза можно судить по тому факту, что уже к середине кембрия Тиманский ороген был пенепленизирован, и окраина Восточно-Европейской платформы (ВЕР) представляла собой полого наклонённую на восток (в современных координатах) равнину, плоскую и каменистую, продуваемую ветрами со стороны Палеоазиатского океана и из глубины континента, возможно, сезонными.

Необходимо напомнить, что до начала девонского периода на континентальной суше отсутствовала растительность, которая является мощным барьером на пути ветра, и физическое выветривание определялось ветровой эрозией в такой степени, которую в геологическом настоящем нам даже трудно представить. Мы можем обращаться только к современным аналогам этого процесса.

Например, Д.И. Мушкетов [7] отмечает, что иногда в пустынях Средней Азии невозможно было взять образец из, казалось бы, крепкой скальной породы. Поскольку, все скальные обнажения под воздействием ветра были дезинтегрированы «насквозь», на значительную мощность, по слоистости и трещинам отдельности так, что рассыпались в мелкую дресву при каждом ударе геологического молотка, тут же образуя коллювий, опасную щебнистую осыпь. Обращаясь к геологическому прошлому, легко представить, как целые горные системы рушились под напором ветра и осыпались от малейшего сейсмического толчка, которых даже в современной геологической истории, тектонически гораздо более спокойной, насчитывается не менее миллиона за год [16]. В отличие от «свежей» осыпи, щебень у подножия скал под воздействием ветра часто принимает характерный облик пирамидальных обломков, описанных еще академиком П.А. Тутковским [14].

Другой пример – сухие пустыни Антарктиды Мак-Мёрдо. Постоянно дующие ветра здесь настолько сильны (390 км/час), что даже летом при слабых для этого региона морозах ( $-25^{\circ}\text{C}$ ) снег не держится, а лед не образуется, испаряется. Местность представляет собой выдутые ветром долины, песчано-каменистые пустыни, наподобие жарких пустынь Средней Азии, правда, с условиями, приближенными к марсианским. Следует отметить, что здесь, как и в покрытых вечными льдами районах Антарктиды, массово встречаются пирамидальные треугольные образования, от крупных гор, скал до обломков щебнистой размерности, которые некоторыми товарищами с пылким воображением воспринимаются как пирамиды, космические корабли и прочие артефакты. Загадочности добавляет «черный лак», покрывающий как крупные скалы, так и мелкий щебень. Как бы лакированные обломки встречаются во всех пустынях Земли, где преобладает ветровая эрозия.

Геологи знают, что «загадочные» щебнистые обломки называются ветрогранниками (windkanter), а пирамидальные трехгранники имеют традиционное назва-



ние драйкантеров. Академик П.А. Тутковский [14] описывал именно драйкантеры, называя их «пирамидальные валуны», хотя существуют и другие морфологические группы ветрогранников [16]. «Таинственный» черный лак («лак пустыни»), покрывающий отполированные ветром грани образований, представляет собой гидроксиды железа и марганца [13], которые в древних породах, испытавших литостатическое давление, растворяется, в чем мы убеждаемся на примере ветрогранников раннего палеозоя. Всплеск интереса к эоловым образованиям возник в последние годы, когда американские роверы «Curiosity» и «Perseverance» предоставили множество фотографий марсианских ветрогранников, нанеших большой урон их ходовой части.

Еще один пример – знаменитый «алмазный берег» Намибии. Здесь ветер дует с поразительным постоянством круглый год, и что характерно, как раз со стороны Антарктиды, правда, «слабее», до 90 км/час. На море это явление известно как «ревущие сороковые» еще со времен парусного флота. А в провинции Нумаланд (Намибия) ветер «вгрызается» в скальные породы и образует так называемый корразионный ландшафт – субмеридионально вытянутые долины, глубиной до 150 м, с почти отвесными стенками и выположенным днищем, усыпанным ветрогранниками. Эти своеобразные эоловые долины получили название котловин выдувания (рис. 1, 2). Запомним этот термин.

Конечно, все приведенные выше примеры не имели бы никакого значения, кроме общегеологического, хотя это значение является определяющим, если бы они не имели связь с полезными ископаемыми, которые образуются или могут образоваться под воздействием ветра, то есть под воздействием эолового фактора, который приводит к формированию эоловых россыпей. В геологии россыпей эоловый тип занимает важное место, в том числе и алмазоносный тип россыпей.

Суммируя результаты наших предыдущих исследований [9,10,11], можно сказать, что эоловый фактор приводит к образованию алмазоносных россыпей, в том числе и промышленного значения, только в алмазоносном районе за счет выдувания частиц легкой фракции и накопления ценных минералов тяжелой фракции пород. Казалось бы, это – факт очевидный, особенно в ретроспективе. Однако в ретроспективном подходе кроется некая, не совсем очевидная опасность. И вот какая: она состоит в неполноте наших знаний о прошлых геологических эпохах, особенно древних, с минимумом геологической информации, когда широкие обобщения необходимо делать с известной осторожностью.



Рис. 1. Котловина выдувания с коллювиальной осыпью на бортах, источником ветрогранников, в провинции Нумаланд (Намибия) – корразионный ландшафт (Dobbertin, Walther, foto 1906/1914). Вот так примерно могла выглядеть восточная окраина ВЕП на рубеже ордовика и силура.



Рис. 2. «Марсианский» пейзаж Антарктиды: днище сухой долины, выполненное уплотненными одногранниками и пирамидальными многогранниками, образованными постоянно дующими ветрами (Dutch, Steven, 2017), – обычный вид каменистой пустыни

В этом случае полезно перевернуть ситуацию и взглянуть на нее из прошлого, имея в виду перспективу развития того или иного события на основе имеющихся фактов. Основание простое: выяснить, был ли данный район алмазоносным, чтобы решить, сработает ли данный фактор (например, эоловый) в образовании алмазоносных россыпей. В случае, если район заведомо неалмазоносный, естественно, этот фактор, и никакой другой, не сработает. Мало ли где дует ветер, но этот абстрактный ветер не образует алмазы, не сформирует россыпь и не создаст промышленного месторождения.

Итак, что мы знаем об алмазоносности раннего палеозоя, в частности, являлась ли в то время территория алмазоносной? Здесь действовать надо последовательно и начать несколько издалека. В верхнепротерозойских породах региона алмазов до сих пор не обнаружено, хотя именно этот докембрийский субстрат пород подвергался интенсивной эрозии во время континентального развития территории в раннем палеозое и составил основу пород последнего, поэтому следует сказать несколько корректнее: на сегодняшний день алмазоносность их не установлена.

Идем дальше: начало раннего палеозоя – это породы помянённой свиты [3], представленные сгруппированными красноцветными полимиктовыми конгломератами. По нашему мнению, эти сгруппированные породы имеют характер грязекаменного селя, очень локального; для них есть современная аналогия [17]. При крупнообъемном опробовании дезинтегрированных разностей пород получен один алмаз: 7,1 мг на 110 м<sup>3</sup> [5]. По соотношению массы и плотности алмаза, был найден кристалл размером около 2,2 мм. Это успех или нет? С точки зрения промышленной алмазоносности, конечно, провал. Но с точки зрения геологии россыпей – это, конечно, поисковый признак промежуточного коллектора раннего палеозоя, первого и самого древнего из известных.

Так, зафиксируем: начало раннего палеозоя отмечено алмазоносностью локального проявления, из чего делаем вывод, что территория является алмазоносной. Крайняя дискретность геологической летописи континентальных отложений не позволяет нам сделать более широкого обобщения. Если алмазоносность помянённой свиты – это случайность, то в дальнейшем она не должна более повториться. Что же мы видим по факту, в дальнейшей геологической истории региона?

Отложения полюдовской свиты, представленные кварцевыми мелкогалечными конгломератами, оказываются алмазоносными по факту крупнообъемного опробования. Характерно, что эти конгломераты аллювиального генезиса, что подтверждено неоднократными исследованиями [15,4,11], являются сгруппированными, и на это в свое время обращали внимание геологи-съемщики [5]. Сгруппированность, увы, свидетельствует о разубоживании полезного компонента. И действительно, при объеме опробования 1500 м<sup>3</sup> природно дезинтегрированных разностей ордовикских пород было получено два мелких зерна алмаза [5], поэтому повторного опробования с тех пор никто не проводил. С точки зрения промышленной алмазоносности, опять провал. Но тут мы должны отметить, что определенно наметилась тенденция, отрицающая случайность алмазоносности территории в раннем палеозое. Этот важный вывод необходимо зафиксировать. Он

особенно важен при организации поисковых работ. Есть ли перспектива или нет? Исходя из уже приведенных данных – есть, осталось ее воплотить в дело. Итак, мы видим подтверждение алмазности района в ордовикском промежуточном алмазном коллекторе.

Теперь необходимо вернуться к постулату о том, что факторы россыпеобразования алмазных россыпей действуют только в алмазном районе. До сих пор мы имели дело с факторами временных селевых потоков и аллювиальным, которые, хотя и выявили алмазность территории, но не привели к промышленным концентрациям полезного ископаемого. Следовательно, для поисковых работ представляется насущным и важным определение россыпеобразующих факторов, приводящих к образованию промышленно значимых россыпей в конкретной палеогеографической обстановке. И с этой точки зрения наибольший интерес представляет рубеж ордовика и силура, где в базальных терригенных отложениях колчимской свиты в 2010 г. установлена промышленная алмазность силурийского промежуточного коллектора.

Представляется очень важным, что в подсилурийских отложениях, в обломочной коре выветривания ордовика, обнаружены ветрогранники, индикаторы эолового литогенеза, в частности каменистых пустынь [10]. И теперь нам остается только связать вместе постулат алмазности изучаемой территории в раннем палеозое с ветрогранниками, чтобы сделать вывод о том, что эоловый фактор имеет прямое отношение к формированию ордовикского промежуточного коллектора.

Мощность ордовикских отложений в месте нахождения ветрогранников на месторождении Южная Рассольная составляет всего около 0,2 м, в то время как в ближайшем окружении их мощность – это первые сотни метров (гг. Камень Полянка, Помянный Камень), что говорит об интенсивном выветривании ордовикских пород и о возможном природном их обогащении [1]. Поэтому закономерен вопрос о существовании в регионе алмазных россыпей эолового типа.

Так, алмазные силурийские отложения как бы «вложены» в отрицательную форму древнего рельефа, которую мы считаем котловиной выдувания как по ее морфологии, так и по тому факту, что в подошве силурийских отложений обнаружены ветрогранники. Отсюда следует, что алмазность силурийского коллектора может рассматриваться как унаследованная по отношению к ордовикскому коллектору. Конечно, вполне возможно, не вся алмазность силура определена эоловым фактором; например, единичные ветрогранники несут следы окатанности в водном потоке, но это уже наложенный процесс; а в толще силурийского коллектора нами отмечен рассеянный по поверхности напластования пород галечный аллювиальный материал. Очевидно, что в начале силура климат становится мягче и превалирование эолового фактора на территории сменяется аллювиальным, в чем мы не видим противоречия в процессе формирования алмазных россыпей, поскольку сочетание нескольких факторов не исключает каждый из них, а только способствует повышению продуктивности алмазного коллектора.

Цель данной статьи состоит не в абсолютизации эолового фактора, но в том, чтобы обратить на него внимание и, соответственно, учитывать при проведении

геологоразведочных работ. Хорошо известно, что эоловые россыпи в алмазоносных районах отличаются повышенной алмазоносностью [2], самой высокой из всех типов россыпей. Также известно, что для эоловых алмазных россыпей очень характерны ветрогранники [17]. Для успешного проведения геологоразведочных работ нами определены поисковые условия для картирования россыпей эолового типа: отрицательные формы в древнем рельефе (котловины выдувания) и находки ветрогранников в ложе котловин, каковые задачи решаются колонковым бурением уже на стадии поисков.

Таким образом, невыясненная до сих пор прямым крупнообъемным опробованием промышленная алмазоносность ордовикского коллектора требует самого пристального внимания. Косвенным основанием для умеренного рабочего оптимизма являются два факта, установленные в последние годы. Первый – это алмазоносность склоновых брекчий Буркочимской депрессии на юге г. Помянённый Камень, которую мы связываем с ордовикским коллектором [12]. Второй – это то, что силурийский коллектор, смежный с ордовикским, является промышленно алмазоносным и также промежуточным, в ряду: раннепалеозойские коллекторы – среднепалеозойский коллектор (такатинский  $D_{1tk}$ ). Следовательно, при дальнейшей разработке научно-теоретических основ для проведения геологоразведочных работ на россыпные месторождения алмазов, необходимо учитывать эоловый тип алмазоносных россыпей и, возможно, не только на Урале, но и в других россыпных районах страны.

#### Библиографический список

1. Акулов Н.И., Агафонов Б.П. Поведение минералов тяжелой фракции в условиях эолового переноса // Геология и геофизика. 2007. Т. 48. № 3. С. 344–349.
2. Беетц В., Кайзер Э. Алмазоносная пустыня юго-западной Африки. В 2 т. Т. 2. Кн. 1. Л.: Министерство геологии, 1952. 184 с.
3. 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.
4. Боровко Н.Г. Генезис пород полюдовской свиты Северного Урала // Материалы по геологии и полезным ископаемым Урала. Л.: ВСЕГЕИ, 1962. Т. 86. С. 103–110.
5. Иинов 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.
6. Карлов Н.Н. О номенклатуре и классификации ветрогранников // Проблемы физической географии. Т. XVI. Л.: Изд-во АН СССР, 1951. С. 174–178.
7. Мушкетов Д.И. Физическая геология. Изд. 3-е. В 2 т. Т.2. Л.–М.: Госиздат, 1926. 636 с.
8. Пактовский Ю.Г. Проблема алмазоносности помянённовской свиты // 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, 2022. Вып. 25. С. 199–208.
9. Пактовский Ю.Г. Силурийский промежуточный коллектор алмазов (южное Притиманье, Пермский край) // Вестник Пермского университета. Геология. 2021. Т. 20. № 4. С. 301–319.
10. Пактовский Ю.Г. О ветрогранниках в основании силура в Южном Притиманье (Пермский край) // Учёные записки Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского. География. Геология. Том 6 (72), №2. 2020. С. 243–261.

11. *Пактовский Ю.Г., Илалтдинов И.Я.* О генезисе конгломератов полюдовской свиты г. Помянённый Камень в Южном Притиманье // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении. Научные чтения памяти П.Н. Чирвинского: сб. науч. статей / отв. ред. И.И. Чайковский. Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2020. Вып. 23. С. 167–173.
12. *Попов А.Г., Калашиников Н.Г., Пактовский Ю.Г.* Применение скважин большого диаметра в геологической разведке месторождений алмазов на Северном Урале // Вестник Пермского университета. Геология. 2012. № 3 (16). С. 68-73.
13. *Страхов Н.М.* Основы исторической геологии. В 2 ч. Часть I. М.–Л.: Гос. изд-во геологической литературы, 1948. 253 с.
14. *Тутковский П.А.* Пирамидальные валуны в Южном Полесье // Известия Геол. комитета. СПб., 1900. №19. С. 363–404.
15. *Чочиа Н.Г.* Геологическое строение Колво-Вишерского края. Л.: Гостоптехиздат, 1955. 406 с.
16. *Шило Н.А.* Учение о россыпях. Теория россыпеобразующих рудных формаций и россыпей. Изд. 2-е. Владивосток: Дальнаука, 2002. 576 с.
17. *Шмаков И.И., Божко Е.Н.* Происхождение морских россыпей алмазов Намибии // Вестник ВГУ, серия: геология, 2008, № 1. С. 116–126.
18. *Dutch, Steven.* Wind Erosion. University of Wisconsin. 2017. <https://web.archive.org/web/20171027050452/http://www.uwgb.edu/dutchs/EarthSC202Slides/windslid.htm>
19. *Dobbertin, Walther.* [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Bundesarchiv\\_Bild\\_105-DSWA0123,\\_Deutsch-S%C3%BCd-Westafrika,\\_Namaland.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Bundesarchiv_Bild_105-DSWA0123,_Deutsch-S%C3%BCd-Westafrika,_Namaland.jpg). Foto 1906/1914.

**А.В. Плюснин<sup>1</sup>, М.С. Куршев<sup>2</sup>, М.И. Гекче<sup>1</sup>**  
ООО «ИНК», г. Иркутск, a.v.plyusnin@mail.ru<sup>1</sup>,  
ТИУ г.Тюмень, mihakursh@mail.ru<sup>2</sup>

## **ПРИМЕНЕНИЕ РЕНТГЕНОФАЗОВОГО АНАЛИЗА ПРИ ПЕТРОФИЗИЧЕСКОЙ ТИПИЗАЦИИ ПОРОД ЯРАКТИНСКОГО ПРОДУКТИВНОГО ГОРИЗОНТА НЕПСКО-БОТУОБИНСКОЙ АНТЕКЛИЗЫ ЮГО-ВОСТОКА СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ**

Работа посвящена литолого-петрофизической типизации пород ярактинского продуктивного горизонта юга Непско-Ботубинской антеклизы в пределах Яраткинского нефтегазоконденсатного месторождения по результатам описания шлифов и рентгеноструктурного анализа. На основе анализа большого объема данных по рентгеноструктурному анализу пород, а также замеров открытой пористости и абсолютной газопроницаемости по гелию на стандартных образцах проведена типизация и дана характеристика основных типов пород. Положительное влияние на фильтрационно-емкостные свойства пород оказал доломитовый, а отрицательное – галитовый и сульфатный цементы. По результатам проведенной типизации основным коллектором являются чистые песчаники и песчаники с доломитовым и пиритовым цементом. Оценка и типизация пород по результатам рентгеноструктурного анализа в паре с петрофизической характеристикой пород может быть применена на терригенном разрезе, где ключевую роль на фильтрационно-емкостные свойства пород оказали вторичные минералы.

**Ключевые слова:** Восточная Сибирь, Иркутская область, Ярактинское месторождение, венд, непская свита, ярактинский горизонт, керн, ФЕС, пористость, проницаемость.

**Plyusnin, M.S. Kurshev, M.I. Gyokche**  
INK LLC, Irkutsk, av.plyusnin@mail.ru<sup>1</sup>, gyokche\_mi@irkutskoil.ru<sup>3</sup>,  
TIU Tyumen, mihakursh@mail.ru<sup>2</sup>

## **APPLICATION OF X-RAY PHASE ANALYSIS IN PETROPHYSICAL TYPING OF ROCKS OF THE YARAKTA PRODUCTIVE HORIZON OF THE NESPO-BOTOBINSKY ANTECLISE IN THE SOUTH-EAST OF THE SIBERIAN PLATFORM**

The work is devoted to the lithological and petrophysical typification of the Yarakta productive horizon rocks in the south of the Nepa-Botuoba anteklise within the Yaratka oil and gas condensate field based on the results of X-ray diffraction analysis. Based on the analysis of a large amount of data on X-ray diffraction analysis of rocks, as well as measurements of open porosity and absolute gas permeability for helium on standard samples, typification was provided and a characteristic of the main types of rocks was given. Dolomitic cement had a positive effect on the reservoir properties of rocks, and halite and sulfate cements had a negative influence. According to the results of the typification, the main reservoirs are pure sandstones and sandstones with dolomite and pyrite cement. Evaluation and typification of rocks based on the results of X-ray diffraction analysis in conjunction with the petrophysical characteristics of rocks can be applied on a terrigenous section, where secondary minerals played a key role in the reservoir properties of rocks.

**Key words:** Eastern Siberia, Irkutsk region, Yarakta field, Vendian, Nepa suite, Yarakta horizon, core, reservoir properties, porosity, permeability.

Базальные терригенные отложения венда, в том числе и ярактинский продуктивный горизонт, на территории Непско-Ботуобинской антеклизы юго-востока Сибирской платформы, является одним из основных объектов разработки в данном регионе. Основой рационального подхода к освоению залежей углеводородов является комплексное геологическое и гидродинамическое моделирование, что позволяет уточнить геологическое строение и фильтрационно-емкостные свойства пласта, а также выбрать наилучший вариант разработки месторождения. Классическая литолого-петрофизическая типизация пород проводится по результатам исследований петрографических шлифов с детальной характеристикой пород и подсчетом акцессорных и аутогенных минералов. Работа с породами коллекторами Восточной Сибири, испытавшим несколько стадий заслоения, имеет ряд особенностей транспортировки, хранения и изготовления образцов. В настоящей работе предпринята попытка типизации пород продуктивного пласта по данным рентгеноструктурного анализа (РСА).

В основу работы легли данные петрографического описания шлифов, литолого-фациального анализа керн. Минералогический состав пород изучен методом рентгенофазового анализа с использованием рентгено-дифрактометрического метода на приборе ДРОН-3М, регистрирующем дифракционную картину с помощью счетчика квантов. Результаты анализа поступали на ЭВМ; для обработки и интерпретации спектрограмм применялись специальные программные средства со встроенной библиотекой эталонных спектрограмм. Замеры открытой пористости и абсолютной газопроницаемости по гелию произведены на образцах стандартного размера (высотой 3 см и диаметром 3 см) (ГОСТ 26450.0-85, 1985).

### **Краткие сведения о геологическом строении**

Рассматриваемые в работе породы стратиграфический приурочены к верхненепской подсвите непской свиты непского горизонта верхнего отдела венда. Они распространены на южной окраине Непско-Ботуобинской антеклизы в районе одноименного Ярактинского нефтегазоконденсатного месторождения на севере Иркутской области в 75 км севернее пос. Верхнемарково.

Верхненепская подсвита литологически представлена песчаниками: в нижней половине разреза – разнотернистыми неравномерно гравистыми и гравийными, в верхней – мелкозернистыми алевроитовыми до крупнозернистыми алевролитами. В кровле подсвиты располагаются смешанные терригенно-карбонатные породы. Мощность ее увеличивается с северо-запада на юго-восток в сторону Предпатовского прогиба от первых метров до 80 м [2].

Изучаемые терригенные породы представлены алевролитами и песчаниками принадлежат следующим группам по Н.В. Логвиненко [1]: полевошпат-кварцевые и граувакки. В целом для пород характерен обломочный материал плохой и средней степени сортировки. Текстура нечеткостроистая, волнистая и косостроистая. Цемент глинистый (гидроглинистый), пленочный и регенерационный кварцевый. В минеральном составе этих пород преобладают: кварц, полевые



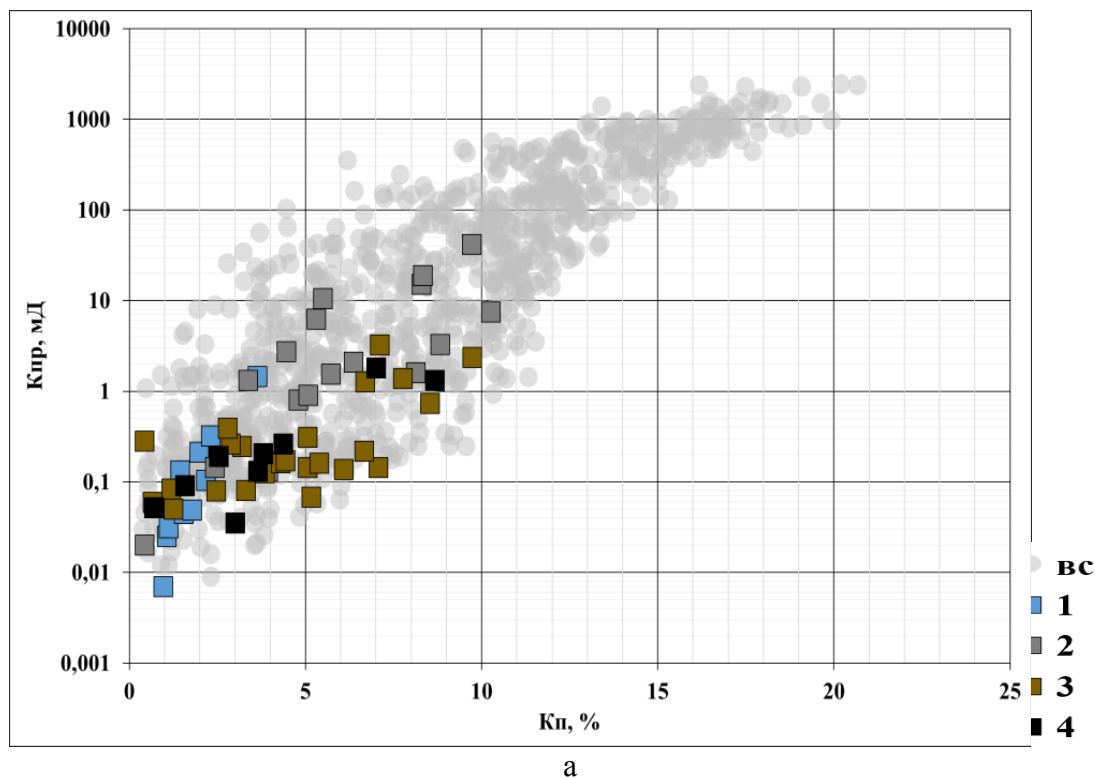
шпаты и обломки пород (не больше 14%). Второстепенные минералы представлены пиритом, лейкоксом, гематитом и глауконитом. Акцессорные минералы: анатаз, турмалин, эпидот, пироксены, сфен и циркон. Из вторичных изменений отмечаются галитизация, доломитизация, сульфатизация и пиритизация порового пространства, регенерация обломочных зерен кварца и полевых шпатов, коррозия и уплотнение пород. Основываясь на различии типов цемента и их процентного содержания, была произведена типизация пород.

Проведенные литолого-фациальные исследования показали, что ярактинский продуктивный горизонт характеризуется резкой латеральной и вертикальной невыдержанностью и фациальной изменчивостью слагающих его отложений. Это обусловлено тем, что горизонт сложен аллювиально-дельтовым комплексом, для которого характерны прерывистое зональное размещение песчаников и частая линзовидность отдельных песчаных пластов [3].

### Литолого-петрофизическая типизация пород

В результате проведенных исследований были выделены 11 типов пород. Далее по тексту приведена их характеристика по фильтрационно-емкостным свойствам и содержанию вторичных минералов по РСА: карбонатность (кальцит и доломит), галит, ангидрит и пирит.

Первая группа типов пород с отсутствием или низкими ФЕС, но присутствующие в пласте (рис. 1 а).



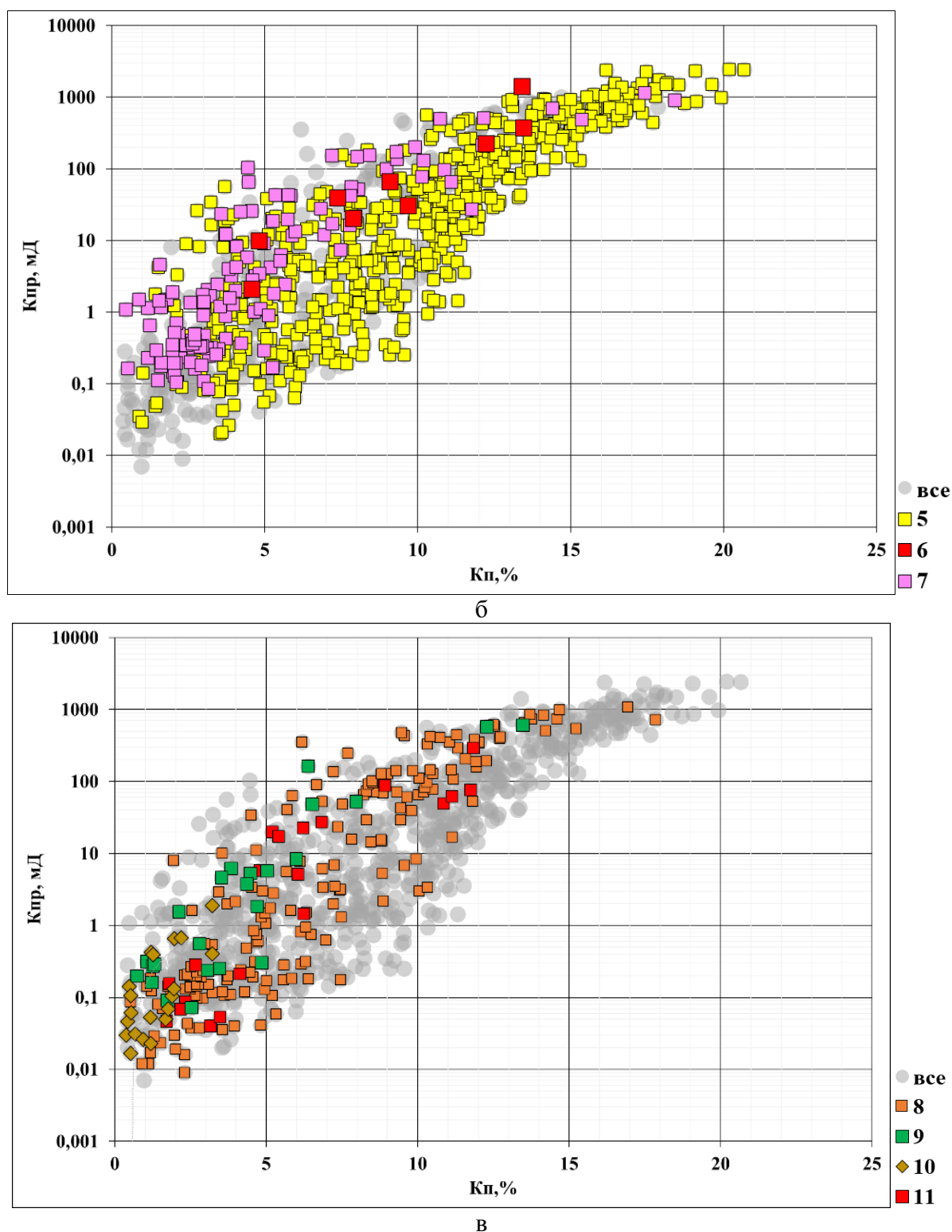


Рис. 1. Зависимости абсолютной газопроводимости от открытой пористости для пород ярактинского продуктивного горизонта (типы: а – 1-3; б – 5-7; в – 8-11).

1. Доломит сульфатизированный песчанистый и глинистый. Коэффициент пористости ( $K_p$ ) варьируется от 0.97 до 3.64%, среднее составляет 1.73%, медианное 1.55%. Коэффициент проницаемости ( $K_{пр}$ ) от 0–1.45 мД, среднее составляет 0.22%, медианное 0.05%. Карбонатность от 14 до 83%, среднее составляет 60%, медианное 62%. Содержание ангидрита варьируется от 0 до 69%, среднее составляет 10%, медианное – 4%. Всего было произведено 11 замеров.

2. Алевролит разнотернистый, неравномерно песчанистый и сульфатизированный. Коэффициент пористости (Кп) варьируется от 0.36 до 13.82%, среднее составляет 5.78%, медианное 5.40%. Коэффициент проницаемости (Кпр) от 0–924.47 мД, среднее составляет 51.95%, медианное 1.85%. Содержание ангидрита варьируется от 0 до 20%, среднее составляет 3%, медианное – 1%. Произведено 20 замеров.

3. Песчаник алевритистый. Коэффициент пористости (Кп) варьируется от 0.43 до 9.74%, среднее составляет 4.63%, медианное 4.75%. Коэффициент проницаемости (Кпр) от 0–3.25 мД, среднее составляет 0.51%, медианное 0.17%. Содержание пирита варьируется от 0 до 26%, среднее составляет 4%, медианное – 1%. Произведено 24 замера.

4. Песчаник алевритистый, с доломитовым цементом. Коэффициент пористости (Кп) варьируется от 0,70 до 8,68%, среднее составляет 3.63%, медианное 3.33%. Коэффициент проницаемости (Кпр) от 0–1.81 мД, среднее составляет 0.41%, медианное 0.16%. Карбонатность от 7 до 48%, среднее составляет 60%, медианное 62%. Содержание ангидрита варьируется от 0 до 14%, среднее составляет 6%, медианное – 4%. Содержание пирита варьируется от 0 до 26%, среднее составляет 4%, медианное – 1%. Всего было произведено 10 замеров.

Вторая группа типов пород составляет основную часть пласта и обладает низкими и хорошими ФЕС (рис. 1б, в).

5. Песчаник. Коэффициент пористости (Кп) варьируется от 0.83 до 20.67%, среднее составляет 9.73%, медианное 9.91%. Коэффициент проницаемости (Кпр) от 0–2435.00 мД, среднее составляет 187.15%, медианное 17.40%. Карбонатность от 0 до 5%, среднее составляет 2%, медианное 1%. Всего было произведено 574 замера. На гистограмме распределения коэффициентов пористости и проницаемости видно (рис. 2), что наибольшую частоту встречаемости Кп имеют породы в интервалах 5–10% и 10–15% (частота встречаемости 0.35 д.ед. и 0.37 д.ед. соответственно). Преобладающая проницаемость в интервалах 10–100 мД и 100–1000 мД (частота встречаемости 0.26 д.ед. и 0.26 д.ед. соответственно).

6. Песчаник с пиритовым цементом. Коэффициент пористости (Кп) варьируется от 4.58 до 13.47%, среднее составляет 9.18%, медианное 9.10%. Коэффициент проницаемости (Кпр) от 0–1.81 мД, среднее составляет 0.41%, медианное 0.16%. Содержание пирита варьируется от 6 до 40%, среднее составляет 14%, медианное – 12%. Произведено 9 замеров. На гистограмме распределения коэффициентов пористости и проницаемости видно (рис. 2), что наибольшую частоту встречаемости Кп имеют породы в интервалах 0–5% и 5–10% (частота встречаемости 0.44 д.ед. и 0.33 д.ед. соответственно). Преобладающая проницаемость в интервалах 10–100 мД и 100–1000 мД (частота встречаемости 0.44 д.ед. и 0.22 д.ед. соответственно).

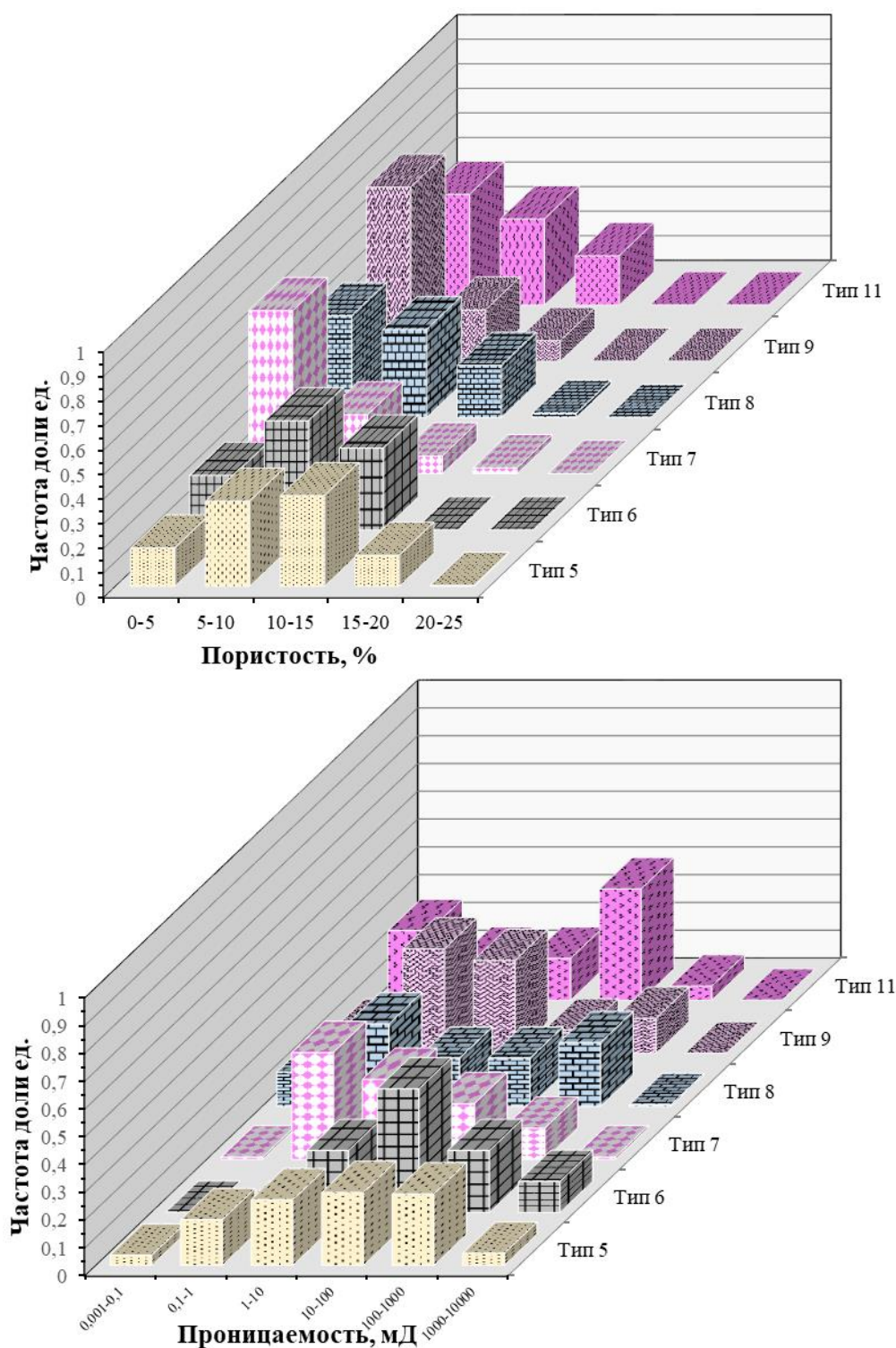


Рис. 2. Гистограммы распределения пористости и проницаемости по типам пород 5-9 и 11.

7. Песчаник с галитовым цементом. Коэффициент пористости ( $K_p$ ) варьируется от 0.47 до 18.41%, среднее составляет 4.82%, медианное 3.82%. Коэффициент проницаемости ( $K_{пр}$ ) от 0.08–1139.81 мД, среднее составляет 53.51%, медианное 1.67%. Карбонатность от 0 до 6%, среднее составляет 6%, медианное 2%. Содержание галита варьируется от 6 до 41%, среднее составляет 14%, медианное – 13%. Произведено 125 замеров. На гистограмме распределения коэффициентов пористости и проницаемости видно (рис. 2), что наибольшую частоту встречаемости  $K_p$  имеют породы в интервалах 0–5 % и 5–10% (частота встречаемости

0.66 д.ед. и 0.24 д.ед. соответственно). Преобладающая проницаемость в интервалах 0.1–1 мД и 1–10 мД (частота встречаемости 0.38 д.ед. и 0.28 д.ед. соответственно).

8. Песчаник с доломитовым цементом. Коэффициент пористости (Кп) варьируется от 0.53 до 17.86%, среднее составляет 6.72%, медианное 6.19%. Коэффициент проницаемости (Кпр) от 0.0–1077.77 мД, среднее составляет 102.60%, медианное 2.98%. Карбонатность от 5 до 50%, среднее составляет 17%, медианное 14%. Содержание пирита варьируется от 0 до 62%, среднее составляет 2%, медианное – 0.2%. Произведено 179 замеров. На гистограмме распределения коэффициентов пористости и проницаемости видно (рис. 2), что наибольшую частоту встречаемости Кп имеют породы в интервалах 0–5% и 5–25% (частота встречаемости 0.41 д.ед. и 0.35 д.ед. соответственно). Преобладающая проницаемость в интервалах 0.1–1 мД и 100–1000 мД (частота встречаемости 0.30 д.ед. и 0.23 д.ед. соответственно).

9. Песчаник с доломитовым и галитовым цементом. Коэффициент пористости (Кп) варьируется от 0.74 до 13.48%, среднее составляет 4.37%, медианное 3.69%. Коэффициент проницаемости (Кпр) от 0.07–599.93 мД, среднее составляет 61.47%, медианное 1.68%. Карбонатность от 6 до 18%, среднее составляет 9%, медианное 8%. Содержание галита варьируется от 6 до 23%, среднее составляет 12%, медианное – 11%. Произведено 24 замера. На гистограмме распределения коэффициентов пористости и проницаемости видно (рис. 2), что наибольшую частоту встречаемости Кп имеют породы в интервалах 0–5% и 5–10% (частота встречаемости 0.70 д.ед. и 0.20 д.ед. соответственно). Преобладающая проницаемость в интервалах 0.1–1 мД и 1–10 мД (частота встречаемости 0.37 д.ед. и 0.33 д.ед. соответственно).

10. Песчаник с доломитовым и сульфатным цементом. Коэффициент пористости (Кп) варьируется от 0.38 до 3.22%, среднее составляет 1.36%, медианное 1.20%. Коэффициент проницаемости (Кпр) от 0.02–1.88 мД, среднее составляет 0.27%, медианное 0.09%. Карбонатность от 7 до 49%, среднее составляет 29%, медианное 30%. Всего было произведено 20 замеров.

11. Песчаник с сульфатным цементом. Коэффициент пористости (Кп) варьируется от 1.72 до 11.85%, среднее составляет 5.84%, медианное 5.30%. Коэффициент проницаемости (Кпр) от 0.04–290.95 мД, среднее составляет 33.23%, медианное 5.43%. Карбонатность от 0 до 5%, среднее составляет 1%, медианное 1%. Содержание ангидрита варьируется от 6 до 30%, среднее составляет 11%, медианное – 8%. Произведено 24 замера. На гистограмме распределения коэффициентов пористости и проницаемости видно (рис. 2), что наибольшую частоту встречаемости Кп имеют породы в интервалах 5–10% и 10–15% (частота встречаемости 0.45 д.ед. и 0.35 д.ед. соответственно). Преобладающая проницаемость в интервалах 0.001–0.1 мД и 10–100 мД (частота встречаемости 0.25 д.ед. и 0.4 д.ед. соответственно).

## Обсуждение

Первая группа типов пород (1–4 тип) характеризуются отсутствием или низкими ФЕС, тонкопоровым типом коллектора. Алевриты и песчаники алевритистые приурочены преимущественно к межканальным участкам распределительных каналов субаквальной части дельты и отложениям продельты. Доломиты сульфатизированные песчанистые приурочены к верхней части разреза, формировались в условиях крайнего мелководья супралиторали.

Вторая группа типов пород составляет основную часть пласта (5–11 тип) и характеризуется поровым типом коллектора. Лучшими ФЕС обладают чистые (бесцементные) песчаники (5 тип), локализованные в распределительных каналах субаэральной части дельты. Доломитовый цемент в песчаниках (8 тип) оказал положительное влияние. На графике зона пород в верхней части чистых песчаников, за счет повышенной проницаемости, на что мог повлиять доломитовый корродирующий цемент. Породы данного типа приурочены к субаквальной части дельты. Появление галитового цемента в песчаниках (7 тип) и в песчаниках с доломитовым цементом (8 тип) приводит к полному и частичному ухудшению ФЕС на 1–2 порядка. Породы локализованы преимущественно в субаквальной части дельты, а также приурочены к участкам тектонической трещиноватости, по которой осуществлялась фильтрация рассолов при геодинамической перестройке залежей [4]. Песчаники с сульфатным цементом (11 тип), с доломитовым и сульфатным цементом (10 тип) характеризуются как отсутствием, так и низкими ФЕС. Они приурочены к верхней части разреза.

## Заключение

По результатам проведенной типизации, основным коллектором являются бесцементные песчаники, песчаники с доломитовым и пиритовым цементами. Оценка и типизация пород по результатам рентгеноструктурного анализа в паре с петрофизической характеристикой пород может быть применена на терригенном разрезе, где ключевую роль в ухудшении фильтрационно-емкостных свойств пород оказали вторичные минералы галит и ангидрит.

### Библиографический список

1. Логвиненко Н. В. Петрография осадочных пород. М.: Высшая школа, 1974. 400 с.
2. Плюснин А. В., Гёкче М. И. Состав и строение непского и тирского горизонтов Приленско-Непской литолого-фациальной зоны Непско-Ботубинской антеклизы по результатам изучения кернового материала // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2020. №1. С. 75–89.
3. Плюснин А. В., Ибрагимов Р. Р., Гёкче М. И. История геологического развития юга Непско-Ботубинской антеклизы в непское и тирское время // Нефтяное хозяйство. 2020. № 9. С. 21–25.
4. Плюснин А. В., Гёкче М. И. Факторы формирования и разрушения залежей углеводородов подсолевого карбонатного комплекса на юге Непско-Ботубинской антеклизы // Тектоника и геодинамика Земной коры и мантии: фундаментальные проблемы-2022. Материалы ЛIII Тектонического совещания. Т. 2. М.: ГЕОС, 2022. С. 92–96.

**А.М. Михневский, А.В. Плюснин**  
ТГУ, г. Томск, mhnvsk@vk.com  
ООО «ИНК», Иркутск, plysnin\_av@irkutskoil.ru

## **ФАЦИАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ НЕПСКОЙ СВИТЫ (ЯРАКТИНСКОГО ГОРИЗОНТА) НА ЮГЕ НЕПСКО-БОТУОБИНСКОЙ АНТЕКЛИЗЫ**

Непская свита, относящаяся к верхневендским отложениям Сибирской платформы, рассмотрена в пределах юга Непско-Ботубинской антеклизы по четырём скважинам Кийского и Средненепского лицензионных участков (ЛУ). Исследовательский интерес свиты продиктован перспективой нефтегазоносности песчаников ярактинского горизонта и, в следствии, расширения ресурсной базы углеводородного сырья. Изучение разреза проведено с целью установить обстановки осадконакопления и создать концептуальную литолого-фациальную модель формирования толщи непской свиты, что в свою очередь даёт возможность проследить развитие перспективного песчаного пласта в разрезе и по площади на этапе моделирования. Выводы построены на детальном седиментологическом описании керна и петрографическом описании шлифов.

**Ключевые слова:** непская свита, ярактинский горизонт, Непско-Ботубинская антеклиза, Сибирская платформа.

**A.M. Mikhnevsky, A.V. Plyusnin**  
Tomsk State University, Tomsk, mhnvsk@vk.com  
LLC «IOC», Irkutsk, plysnin\_av@irkutskoil.ru

## **FACIES MODEL OF THE FORMATION OF THE NEPSKAYA FORMATION (YARAKTA HORIZON) IN THE SOUTH OF THE NEPA-BOTUOBINSKY ANTECLISE**

The Nepa formation belongs to the Upper Vendian deposits of the Siberian Platform. It was examined within the south of the Nepa-Botuoba anteklise by four wells of the Kiysky and Srednenepsky licensed areas developed by Irkutsk Oil Company, which provided materials for the research. The interest in studying this formation lies in the large reservoir potential of the sandstones of the Yarakta horizon and, as a consequence, the expansion of the resource base of hydrocarbon raw materials. The study of the section was carried out in order to establish the sedimentation conditions and create a conceptual lithological-facies model of the formation of the Nepa formation, which in turn makes it possible to trace the development of a promising sandstone horizon in the section and in the area at the modeling stage. The conclusions are based on a detailed core description and thin section petrographic analysis.

**Keywords:** Nepa formation, yarakta horizon, Nepa-Botuoba anteklise, Siberian platform.

Непская свита, относящаяся к верхневендским отложениям Сибирской платформы, рассмотрена в пределах юга Непско-Ботубинской антеклизы по четырём скважинам Кийского и Средненепского лицензионных участков (ЛУ), разрабатываемых ООО «Иркутская нефтяная компания», предоставившим материалы для данных работ. Исследовательский интерес свиты вызван перспективой



нефтегазоносности песчаников ярактинского горизонта и, в следствии, расширения ресурсной базы углеводородного сырья. Изучение разреза проведено с целью установить обстановки осадконакопления и создать концептуальную литолого-фациальную модель формирования толщи непской свиты, что в свою очередь даёт возможность проследить развитие перспективного песчаного пласта в разрезе и по площади на этапе моделирования. Выводы построены на детальном седиментологическом описании керна и петрографическом описании шлифов.

В изученных скважинах отложения непской свиты (верхненепская подсвита) залегают с перерывом (10 млн. лет) на фундаменте, являющимся субстратом для терригенного осадконакопления, и перекрыты породами тирской свиты [1,2,3]. Фундамент представлен в северной части рассматриваемой площади (Средне-непский ЛУ) – гранитами массивными, слабо изменёнными, в южной (Кийский ЛУ) – активно изменёнными складчатыми трещиноватыми гранито-гнейсами и корой выветривания по гранито-гнейсам. Тирская свита представлена доломитами кристаллически-зернистыми.

Разрез непской свиты представляет собой последовательную смену от подошвы к кровле песчаников, алевролитов и аргиллитов в различных соотношениях мощностей.

В основании свиты на контакте с фундаментом в части скважин прослеживается перемишка аргиллитов, послойно обогащённых песчаным материалом, пологоволнисто-, линзовидно-, косослоистых мощностью 0,31-0,60 м из фациальной области продельты.

Песчаные пласты ярактинского горизонта, мощность которых с севера на юг постепенно изменяется от 3,16 до 9,45 м, залегают непосредственно на фундаменте или на глинистой перемишке. В северной части рассматриваемой площади песчаники разнотерригенные полевошпат-кварцевые массивные, участками со слабо выраженной пологонаклонной слоистостью, обусловленной редкими глинистыми слойками и распределением цемента различного состава (рис. 1а). Терригенный материал различной (от слабой до хорошей) окатанности и свободно упакован (доля сульфатного и доломитового цемента 25,0-30,0 %). По указанным признакам песчаники отнесён к фрагменту барового тела.

Для южной части площади характерны песчаники средне-мелкозернистые алевролитистые, в подошве гравилитистые, аркозовые и кварцевые, косослоистые и градиционнослоистые. Слоистость однонаправленная и обусловлена переслаиванием терригенного материала различной размерности, ориентировкой обломочного материала, наличием редких глинистых слойков и их интракластов (рис. 1б). Терригенный материал полуокатанный, преимущественно плотно упакован, послойно участками, с увеличением размерности обломочного материала, – свободно (доля цемента 12,5-15,0 %). Песчаники южной части рассматриваемой площади по указанным свойствам отнесены к фациям рукавов подводной дельты, где формировались в активных динамических условиях.

Выше по разрезу, (как на юге, так на севере) песчаники постепенно, или через эрозионный срез, переходят в алевролиты глинистые кварцевые мощностью



1,57-1,97 м из области дистальной части фронта дельты. Алевролиты на юге – пологонаклонно-, линзовидно-слоистые, на севере – косослоистые за счёт переслаивания глинистого и терригенного материала (рис. 1в).

Аргиллиты алевритистые до аргиллитов мощностью 14,02-15,00 м на севере и 26,84 м на юге, занимают верхнюю часть разреза и отражают продвижение дельты вглубь континента. Текстуры аргиллитов наклонно-, линзовидно-, косослоистые за счёт распределения терригенного материала в основной глинистой массе и часто нарушены взламыванием слоев, взмучиванием, просачиванием, оплыванием и смятием осадка, что характерно для зоны продельты, граничащей с морским шельфом (рис. 1г,д). При этом в кровле толщи, на контакте с тирской свитой, часто отмечается брекчирование аргиллитов, вследствие перерыва в осадконакоплении.

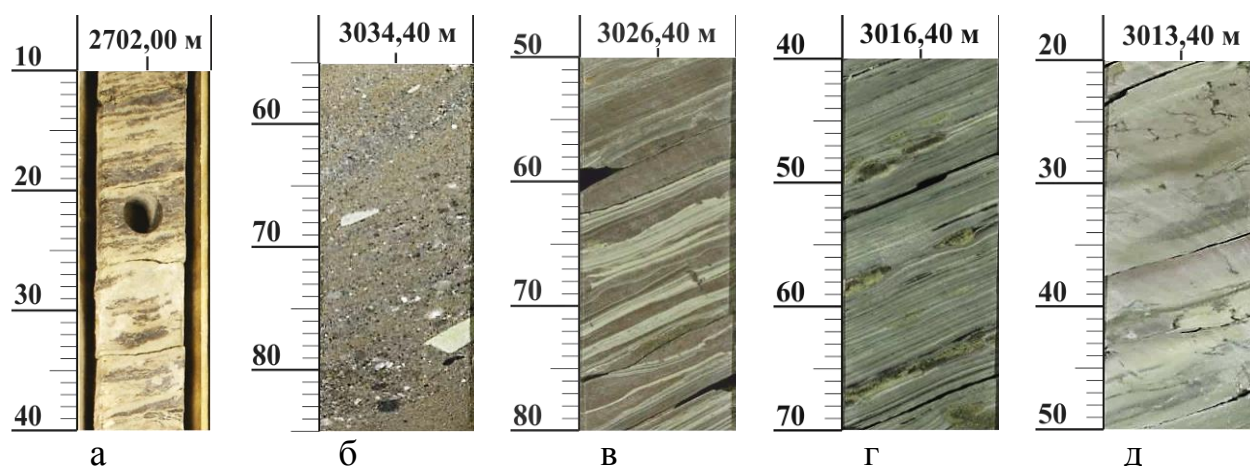


Рис. 1. Текстуры особенности основных типов пород непсокой свиты юга Непско-Ботубинской антеклизы в пределах Кийского и Средненпского ЛУ

- а) слабо выраженная пологонаклонная слоистость баровых песчаников;
- б) градационная косая слоистость с интракластами аргиллитов песчаников рукавов подводной дельты;
- в) косая слоистость алевролитов глинистых дистальной части фронта дельты;
- г) косая слоистость аргиллитов алевритистых продельты;
- д) просачивание осадка в аргиллитах продельты

Совокупность признаков позволяет сформировать вывод об осадкообразовании непской свиты в пределах Кийского и Средненпского ЛУ в условиях речной дельты в ходе её последовательного продвижения вглубь континента (рисунок 2) [4,5,6].

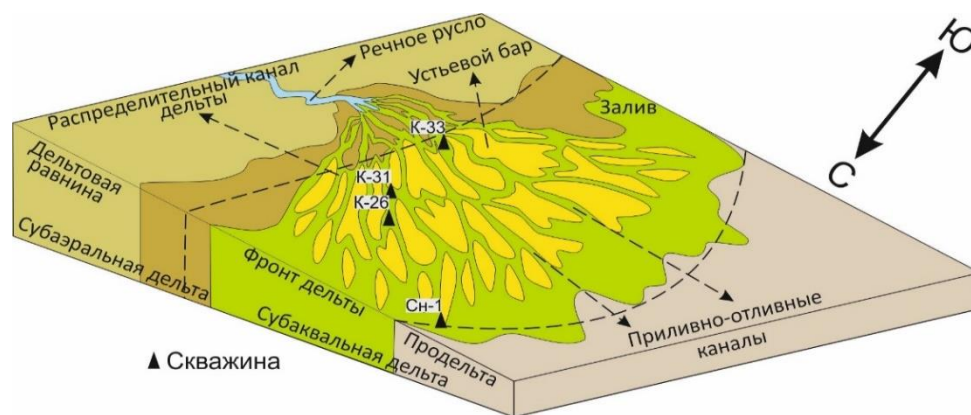


Рис. 2. Фациальная модель речной дельты на период формирования песчаного тела непской свиты юга Непско-Ботуобинской антеклизы в пределах Кийского и Средненпского ЛУ

### Библиографический список

1. Мельников Н.В. Венд-кембрийский соленосный бассейн Сибирской платформы: (стратиграфия, история развития) / Н. В. Мельников; Сиб. науч.-исслед. ин-т геологии, геофизики и мин. сырья (СНИИГГиМС). – Новосибирск: СНИИГГиМС, 2017. – 177 с.
2. Решения Всероссийского стратиграфического совещания по разработке региональных стратиграфических схем верхнего докембрия и палеозоя Сибири. Новосибирск. Наука. – 2012. – 83 с.
3. Плюснин А.В., Ибрагимов Р.Р., Гёкче М.И. История геологического развития юга Непско-Ботуобинской антеклизы в непское и тирское время. Нефтяное хозяйство. Геология и геолого-разведочные работы. 2020; 21-25.
4. Плюснин А.В., Гёкче М.И. Состав и строение непской и тирской свиты приленско-непской структурно-фациальной зоны непско-ботуобинской антеклизы по результатам изучения кернового материала. Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2020; 63 (1): 75-89.
5. Nichols G., Williams E., Paola Ch. Sedimentary Process, Environments and Basins: a tribute to Peter Friend. Blackwell Publishing, 2007, 628 p.
6. Кузнецов В.Г. Фации и фациальный анализ в нефтегазовой геологии: Учебник для вузов. – М.: РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина, 2012. – 244 с.

## **ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РОССЫПИ Р. ГАРЕВКИ (ГОРНОЗАВОДСКОЙ РАЙОН, ПЕРМСКИЙ КРАЙ)**

Рассмотрены основные характеристики золота двух россыпей Горнозаводского района (Пермский край). При проведении горно-буровых работ применена эффективная методика, основанная на совмещении в едином цикле проходки, опробования и корректировки мест заложения скважин. Приведены данные о геологическом строении россыпей, гранулометрическом, петрографическом и минеральном составе обломочного материала. Рассмотрены данные о морфологии, гранулометрическом и химическом составе частиц россыпного золота. Отмечены признаки длительного пребывания золотин в погребенном состоянии и их переноса в речных потоках. Различия в гранулометрическом и химическом составе золота изученных объектов свидетельствуют о возможности влияния двух источников питания россыпей.

**Ключевые слова:** Пермский край, россыпь, золото, гранулометрия, морфология, химический состав.

**S.N. Petukhov, B.M. Osovetsky, K.N. Kalina**

OLS “UralGeolPoisk”

Perm State University, opal@psu.ru

## **MAIN CHARACTERISTICS OF GAREVKA PLACER (GORNOZAVODSKIY DISTRICT, PERM REGION)**

The main characteristics of gold for two placers of the Gornozavodsky district (Perm Region) are considered. When carrying out mining and drilling operations, an effective technique based on the combination of drilling, testing and adjustment of well sites in a single cycle has been applied. Data on the geological structure of placers, grain size, petrographic and mineral composition of detrital material are presented. Data on the morphology, granulometric and chemical composition of alluvial gold particles are considered. There are signs of a long staying of gold in the buried state and their transfer in river flows. Differences in the grain size and chemical composition of gold in the studied objects indicate the possibility of the influence of two sources of their formation.

**Keywords:** Perm Region, placer, gold, grain size, morphology, chemical composition.

### **Введение**

Территория Горнозаводского района Пермского края являлась важнейшей россыпеносной провинцией на Западном Урале, начиная с первой четверти XIX века. Все начиналось с открытия в 1820 г. золотоносных песков в долине р. Полуденки. Первые разработки россыпей в этом районе проводились также в долинах рек Северная и Тискос [3]. Золотодобыча с небольшими перерывами продолжается здесь до сих пор, и имеются определенные перспективы на ее расширение в будущем.

В полевой сезон 2021 г. ООО «УралГеолПоиск» в результате проведенных горно-буровых работ и опробования в долине р. Гаревки открыта мелкая россыпь золота. Были пройдены 8 буровых профилей (84 скважины средней глубины 3,6 м) и одна горная линия (6 шурфов) с отбором керновых и бороздовых проб с интервалом опробования 0,5 м. Промывка проб проводилась на скруббере с доводкой концентрата на центробежном концентраторе и последующим контрольным просмотром шлиха, выделенным в деревянной лотке.

Всего было промыто 464 пробы среднего объема 10,4 л. Из них золото обнаружено в 188 пробах. Благодаря оперативной промывке и просмотру шлиховых проб на золото непосредственно в процессе бурения, корректировалась сеть поисковых скважин, что значительно увеличило эффективность поисково-оценочных работ.

Изучение золота (гранулометрический состав, морфология, химический состав) проведено в Центре коллективного пользования ПГНИУ с использованием бинокулярного микроскопа Nikon SMZ 745 (Япония) и сканирующего электронного микроскопа марки JSM 6390LV (фирмы Jeol, Япония) с энергодисперсионной приставкой INCA ENERGY 350 (Oxford Instruments, Великобритания). Режим работы прибора: напряжение – 20 кВ, сила тока – 20 А, рабочее расстояние 12 мм. Использованы эталоны металлов, приготовленные сотрудниками фирмы-изготовителя микроскопа. Всего под микроскопом детально исследовано 68 частиц золота.

### **Геологическое строение района и россыпей**

Река Гаревка, первый крупный правый приток р. Тискос, берет начало в горах Главного Уральского хребта. Россыпь р. Гаревки находится в Горнозаводском районе Пермского края, юго-восточнее п. Промысла. В прошлых столетиях именно в этом районе были отработаны наиболее богатые участки россыпей золота по рекам Полуденка, Северная, Тискос и их многочисленным притокам.

В тектоническом отношении Гаревская россыпь находится в западной части Тагило-Магнитогорского прогиба. Коренными породами в данном районе являются сложно дислоцированные комплексы метаморфизованных терригенных, вулканогенных и интрузивных пород колпаковской, пальничнинской и выйской свит верхнего рифея.

В пределах долины р. Гаревки выделяются три тектонические зоны: Кварцеворский горст, Урефско-Серебрянская моноклираль и Верхнетискосская антиклиналь. Урефско-Серебрянская моноклираль в свою очередь осложнена Европейским и Ивановско-Серебрянским разломами и Ивановско-Серебрянской (Гаревской) синклиналью, которую дренирует долина р. Гаревки. Гаревская синклираль сложена вулканогенно-осадочными породами пальничнинской свиты среднего ордовика. В составе свиты преобладают сланцы слюдисто-кварцевого, слюдисто-хлорит-кварцевого состава и хлоритовые сланцы с подчиненными прослоями диабазов и базальтовых порфиритов, их туфов и туффитов, обогащенных магнетитом и гематитом. В средней части свиты встречены кварцевые песчаники, в нижней – углисто-кварцевые сланцы.

В сланцах пальничненской свиты закартированы единичные мелкие, до первых десятков метров по мощности дайки метадолеритов ( $v\beta O_{2-3}kl$ ) протяженностью до 1–3 км и плагиогранит-порфиров ( $py O_{2-3}kl$ ) аналогичной размерности.

В процессе проведения поисково-оценочной стадии работ в Гаревской россыпи выделены два металлоносных горизонта.

1. *Верхнеплейстоцен-голоценовый металлоносный горизонт аллювиальных отложений (aIII-IV)* развит в пределах речной долины по пойме и руслу и сложен полимиктовыми галечниками. Псефитовая составляющая представлена окатанными гальками местных пород: сланцев (80–85%), эффузивов (10–5%) и кварца (до 10%). Крупность обломочного материала увеличивается с глубиной. Выход тяжелой фракции, представленной в крупных фракциях магнетитом, гематитом и окисленным пиритом, а в мелких – зернами эпидота, амфиболов, циркона и некоторых других минералов, составляет 3–5%.

Мощность золотоносных отложений изменяется от 3,5 до 0,5 м, средняя – 1,35 м. Золото по вертикали распределено крайне неравномерно, что свидетельствует о незрелости отложений (слабой переработке обломочного материала в водном потоке).

2. *Олигоценовый металлоносный горизонт аллювиальных отложений (aP<sup>3</sup><sub>3</sub>)* приурочен к одновозрастным галечникам и залегает на левом борту р. Гаревки в удалении от 70 до 200 м от ее русла с превышением цоколя террасы на 10–12 м. Обломочный материал представлен хорошо- и среднеокатанной галькой и гравием устойчивых к выветриванию пород: кварцем, кварцитопесчаником и лимонитизированными обломками того же состава. Весь обломочный материал покрыт желтовато-бурой корочкой выветривания. Цементирующим веществом в аллювии является желтовато-бурая гидрослюдисто-каолининовая глина. Выход тяжелой фракции, представленной мелкими зернами эпидота, мартита, циркона, гранатов, лимонита, незначительный (менее 1 %).

Мощность золотоносных отложений олигоценового металлоносного горизонта колеблется в пределах от 0,5 до 2,5 м, в среднем 1,6 м. Золото по вертикали распределено неравномерно: содержания варьируют от нулевых значений до сотен мг/м<sup>3</sup>, в отдельных случаях – до граммовых.

При значительном сходстве гранулометрического состава отложения пойменной россыпи более грубообломочные, чем террасовой (табл. 1).

Таблица 1. Гранулометрический состав галечников Гаревской россыпи, %

Фракция	Класс, мм	Россыпь	
		Пойменная	Террасовая
Валуны	$\geq 100$	1,2	0,8
Галька	-100+10	24,8	15,6
Гравий	-10+2	20,3	21,7
Песок	-2+0,05	5,9	6,5
Алеврит	-0,05+0,001	43,4	50,9
Глина	-0,001	4,4	4,5
Средний размер, мм		16,1	10,0

## Характеристики россыпного золота

*Гранулометрический состав.* По данным ситового гранулометрического анализа в обеих россыпях преобладает золото размером 1,0–0,25 мм (73–75%). Однако существенное различие отмечено в количестве крупного золота, которого значительно больше в пойменной россыпи, в то время как в террасовой россыпи заметно больше весьма мелкого металла (табл. 2). Отсюда в пойменной россыпи средний размер золотинок (0,58 мм) почти в два раза выше, чем в террасовой (0,39 мм) (табл. 2). В той и другой россыпях практически отсутствует весьма мелкое золото (размером менее 0,1 мм), что косвенно свидетельствует об активной динамике речного россыпеобразующего потока.

Таблица 2. Гранулометрический состав золота россыпей

Класс, мм	Террасовая россыпь			Пойменная россыпь		
	Общая масса, г	Доля, %	Средняя масса знака, мг	Общая масса, г	Доля, %	Средняя масса знака, мг
>1,0	0,0103	6,1	10,3	0,0679	15,2	13,58
1–0,5	0,0501	30,0	1,67	0,1595	35,6	1,95
0,5–0,25	0,0751	45,0	0,44	0,1686	37,6	0,53
0,25–0,1	0,0312	18,7	0,107	0,052	11,6	0,088
<0,1	0,0003	0,2	0,0059	0,0001	-	0,0048
Сумма	0,1670	100		0,4481	100	

*Морфология.* Из морфологических типов среди крупных золотинок в россыпях преобладают пластинчатые, кроме того присутствуют знаки комковатые, рудного облика (кристаллы, их сростки) и сложной формы (крючкообразные, дендриты, губчатые, проволоковидные и т.д.) (табл. 3). Характерно преобладание золотинок рудного облика в классе 0,25–0,1 мм.

Таблица 3. Морфологические типы золота (доля в %)

Класс, мм	Террасовая россыпь				Пойменная россыпь			
	Пластинчатые	Комковатые	Сложной формы	Рудного облика	Пластинчатые	Комковатые	Сложной формы	Рудного облика
>1,0	53	13	24	10	41	16	41	2
1–0,5	67	15	16	2	53	33	9	5
0,5–0,25	48	22	15	15	49	30	12	9
0,25–0,1	27	7	15	51	14	0	24	62
<0,1	66	13	15	6	31	17	35	17
Всего знаков	490	114	140	105	334	178	210	178

Золото пойменной россыпи более массивное (сравнивается средняя масса знака золота крупных размерных классов – см. табл. 2), отличается повышенной долей золотинок комковатой формы. В составе крупного золота много индивидов



сложных форм. В отличие от них, в террасовой россыпи существенно преобладают уплощенные золотины, особенно среди крупных (более 0,5 мм) и весьма мелких знаков.

Для частиц уплощенного облика рассчитан коэффициент извилистости внешнего контура ( $K_{изв.}$ ) [1], значения которого оказались в основном в пределах от 0,9 до 1,1. Такие значения типичны для золота россыпей средней дальности сноса (3–5 км) от коренных источников.

В террасовой россыпи все крупные знаки золота покрыты пленками гидроксидов железа на поверхности, в то время как в пойменной – примерно половина. Характерной особенностью золота размером более 0,25 мм является наличие включений, при этом в крупных золотилах они присутствуют всегда.

Таким образом, несмотря на территориальную близость террасовой и пойменных россыпей и принадлежность их к долине р. Гаревки, золото металлоносных горизонтов имеет ряд морфологических различий.



Рис. 1. Золото размером более 1 мм (слева – террасовая, справа – пойменная россыпи, здесь и далее)



Рис. 2. Золото фракции 1–0,5 мм



Рис. 3. Золото фракции 0,5–0,25 мм

*Результаты электронной микроскопии.* При изучении *морфологических* особенностей золота россыпей обращено внимание на присутствие в заметном количестве сростков золотинок, характерных для классов 0,5–0,25 и 0,25–0,1 мм (рис. 4). Они могли образоваться только в ходе длительного процесса с появлением перемычек между соседними золотишками. Такие условия обычно создаются в корках выветривания или в древних россыпях [2].

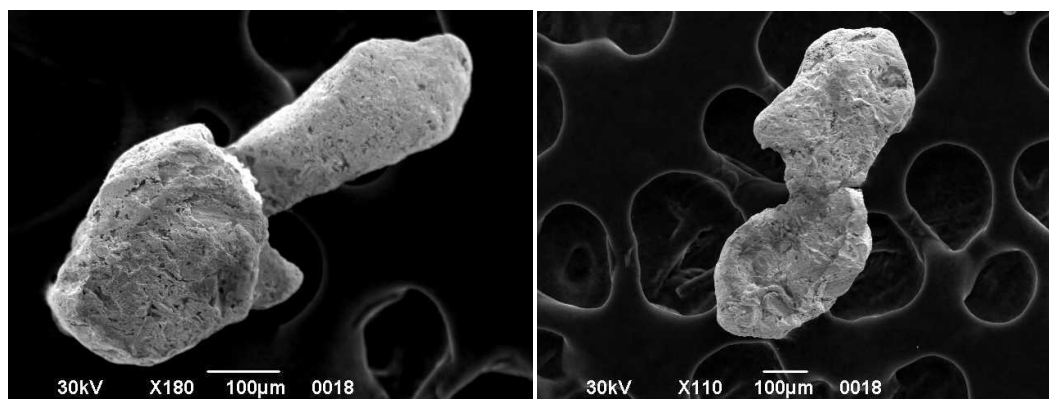


Рис. 4. Сростки золотинок

Наблюдения знаков золота под электронным микроскопом показали также присутствие на их поверхности многочисленных дефектов – ямок, микротрещин, ложбин, царапины, поры, углублений неправильной формы. В последних часто присутствуют примазки, налеты и включения (рис. 5).

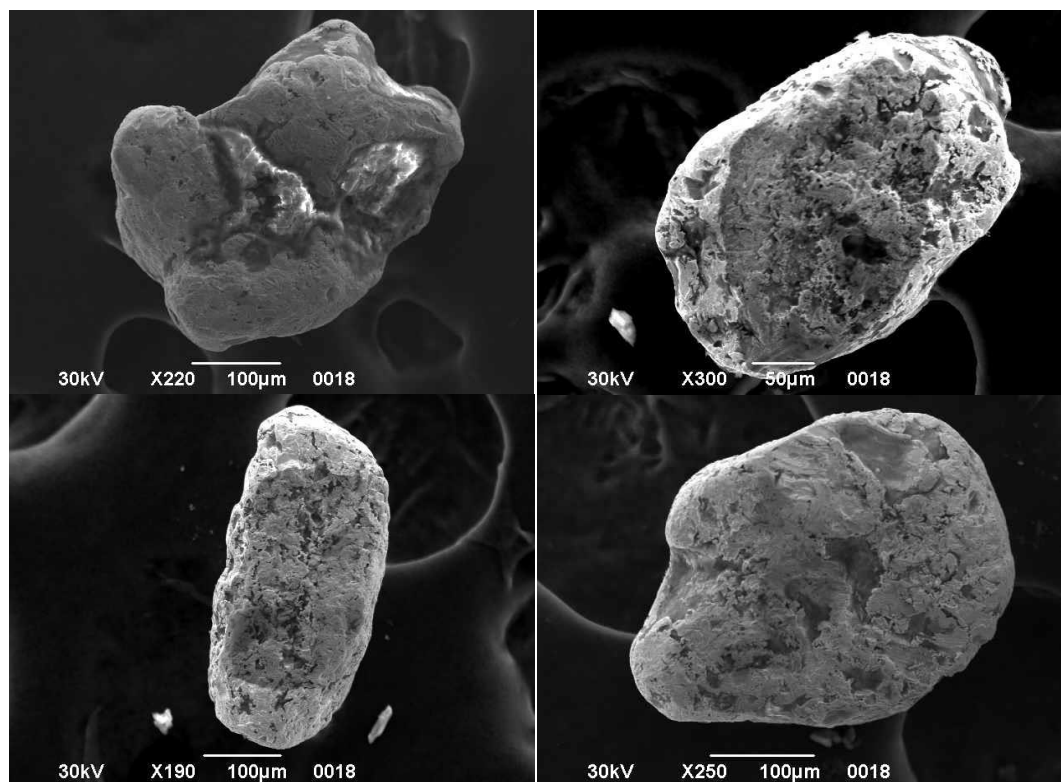


Рис. 5. Характерные дефекты поверхности золотинок террасовой россыпи

Присутствие многочисленных царапин на поверхности некоторых золотинок является свидетельством заметного их переноса в речном потоке (рис. 6).



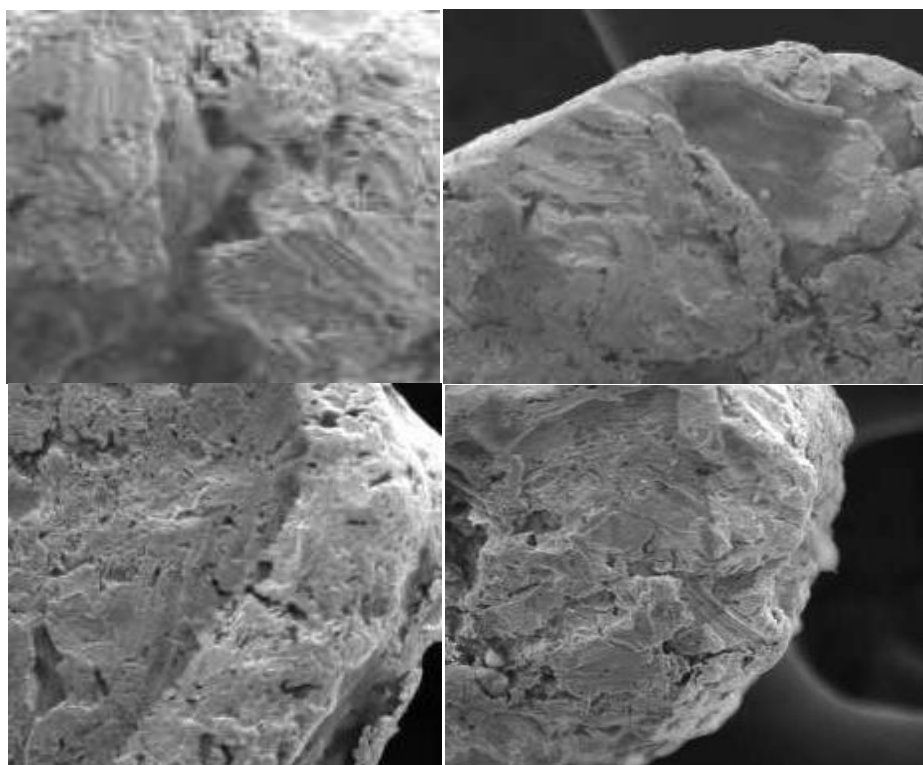


Рис. 6. Царапины (следы переноса) на поверхности частиц золота

*Химический состав* золотин определен микрозондовым методом. Каждая россыпь была представлена выборкой из 30 золотин класса  $-0,25+0,1$  мм.

Таблица 4. Средний химический состав золота россыпей, мас. %

Россыпь	Au	Ag	Cu	Zn	As	Ni	Sb	Bi	Cd	Sn	Hg	Pb
Пойменная	99,21	0,06	0,30	0,06	0,08	0,01	0,03	0,09	0,14	0,02	-	-
Террасовая	98,39	0,92	0,19	0,04	0,14	0,01	0,01	0,10	0,16	-	0,03	0,01

Результаты химического анализа свидетельствуют о присутствии в изученных россыпях высокопробного золота. Различие заключается, прежде всего, в содержании некоторых элементов примесей. В частности, в золоте террасовой россыпи существенно больше серебра, присутствуют ртуть и свинец. Для золота пойменной россыпи характерны примесь меди и присутствие олова. Следует отметить, что в пойменной россыпи серебро присутствует только в трех знаках золота в количестве не выше 0,42%. В террасовой россыпи присутствует золото как содержащее серебро (обычно свыше 1%, в одном случае – более 10%), так и без его примеси. Эти данные указывают на то, что при формировании террасовой россыпи существовало не менее двух разных источников питания.

Химический состав пленок и налетов на поверхности золота аналогичен в обеих россыпях. Среди них присутствуют преимущественно кремнеземисто-глиноземисто-железистые с примесью карбонатного, титанистого, марганцевого и хлоридного вещества. Минеральной основой этих пленок, вероятно, являются агрегаты частиц гидрогетита, глинистых минералов, хлорита, доломита с участием кварца, полевых шпатов, лейкоксена и галита. Характерными рудными элементами-примесями в составе пленок и налетов являются Cu, Pb и Ni.

## **Заключение**

Относительно обоснования направлений и организации полевых работ можно сделать следующий вывод: применение «красноярской» методики проведения поисковых работ (бурение, отбор и промывка проб с одновременным просмотром их на золото в едином временном цикле) позволяет обнаружить новые промышленные объекты даже в хорошо опосредованном районе.

Применение комплексной лабораторной методики изучения россыпного золота с использованием современной аппаратуры и особенно данных электронной микроскопии позволяет получить разнообразную информацию, полезную для установления источников питания россыпей, их удаленности, условий формирования и т.д.

Выполненные исследования могут служить примером начального этапа сотрудничества производственных и научных организаций при поисках россыпных месторождений, которое с еще большей эффективностью может продолжаться на следующих этапах.

### **Библиографический список**

1. *Илалтдинов И.Я., Осовецкий Б.М.* Золото юрских отложений Вятско-Камской впадины. Пермь: Перм. ун-т, 2009. 230 с.
2. *Петровская Н.В.* Самородное золото. М.: Наука, 1973. 348 с.
3. *Шилов А.В., Кудряшов А.И., Наумов В.А.* История освоения недр // Минерально-сырьевые ресурсы Пермского края. Пермь: Изд-во «Книжная площадь», 2006. С. 266–274
4. *Осовецкий Б.М.* Минеральный состав тяжелой фракции среднеюрских отложений вятско-камской впадины // Вестник Пермского университета. Геология. 2011. № 2. С. 20-28.

## **СВЕДЕНИЯ ОБ ИЗУЧЕННОСТИ ЮЖНО-ЧУВАЛЬСКОГО УЧАСТКА НЕДР В КРАСНОВИШЕРСКОМ РАЙОНЕ (ПЕРМСКИЙ КРАЙ)**

Приведена краткая история изучения Южно-Чувальского участка. В рамках геологической изученности кратко перечислены виды геологоразведочных работ, проводившихся на участке в разные годы. По данным геохимической изученности перечислены обнаруженные геохимические аномалии. Кратко приведены геофизические работы по годам, по результатам геофизических работ выявлены аномалии по данным ВЭЗ и магнитометрии. Также приведены данные по геоморфологической изученности.

**Ключевые слова:** Северный Урал, геологическая изученность, золото.

## **INFORMATION ON THE STUDY OF THE YUZHNO-CHUVALSKIY SUBSOIL PLOT IN THE KRASNOVISHERSKIY DISTRICT (PERM TERRITORY)**

**S.B. Kovrizhnykh, A.G. Popov**  
Perm State University, svetlanakovrizhnykh@mail.ru  
Perm State University, p11p@mail.ru

A brief history of the study of the Yuzhno-Chuvalsky site is given. Within the framework of geological knowledge, the types of geological exploration work carried out at the site in different years are briefly listed. Geochemical anomalies are listed according to geochemical knowledge. Briefly, geophysical work is given by year, according to the results of geophysical work, anomalies were identified according to VES and magnetometry data. The data on geomorphological knowledge are also given.

**Key words:** Northern Urals, geological knowledge, gold.

Необходимость анализа сведений об изученности Южно-Чувальского участка обусловлена востребованностью золота, как ликвидного полезного ископаемого. Также это поможет продолжить изучение Расьинского золоторудного поля с целью подтверждения (неподтверждения) наличия прогнозируемых ресурсов.

В географическом отношении участок расположен на западном склоне Северного Урала между горным хребтом Березовский Камень на западе и поймой р. Вишеры на востоке, на правом борту долины р. Вишеры в 100 км по прямой северо-восточнее г. Красновишерска (районного центра) (рис. 1).



Рис. 1. Месторасположение участка на топографическом листе Р-40-118 масштаба 1:100000

В тектоническом отношении территория участка и сопредельное окружение находится в зоне сочленения двух крупнейших структур Урала – Центрально-Уральского поднятия и Западно-Уральской зоны складчатости. В общей схеме геотектонического районирования Северного и Среднего Урала территория участка входит в состав восточного борта Кожимско-Вишерской структуры II порядка и относится к Расьинской антиклинали, а точнее в пределах ее восточного крыла.

Обобщение данных об изученности участка являются начальным этапом геологоразведочных работ, объектом поисков которых является россыпное и рудное золото в пределах Южно-Чувальского участка. Дальнейшей целью работ будет выявление золоторудных объектов минерализованных зон в углеродистых терригенно-карбонатных комплексах; выявление золотороссыпных объектов аллювиального и пролювиально-аллювиального типов.

## Геологическая изученность

В XV-XVI вв. существовал важный водный путь через Урал, начинался он в г. Чердынъ (Чердынском остроге) шел по р. Каме, затем по рр. Вишере, Велс и Посьмак. Потом волоком через Уральский водораздел до р. Тальтию, далее по рр. Ивдель, Лозьва, Тавда, Тобол. В 1588 г. в устье р. Ивдель на р. Лозьва по указу царя был построен Лозьвенский городок (перевалочная военная база с хлебными запасами). В 1597 г. была открыта новая дорога от г. Соликамска до р. Туры. Тогда же был заложен городок Верхотурье и гарнизон и склады были переведены из Лозьвинского городка в Верхотурье.

В XVIII в. было организовано «Общество привишерских горных заводов», а в 90-х гг. XIX в. французо-русское «Волжско-Вишерское акционерное общество», просуществовавшее вплоть до начала XX в. Чердынские купцы привозили железную руду, медь и золото на ярмарку в Новгород. Разрабатывались рудники медных и железных руд Нижне-Верхне Чувальских и Юбрышкинского месторождений на левобережье р. Вишеры. В пос. Велс существовал металлургический завод, по р. Вишере курсировал теплоход и баржи, по тайге были проложены дороги для конных повозок (сохранившиеся до наших дней), а до рудника на горе Юбрышка – узкоколейная железная дорога. По ручьям и рекам старались вольные люди. Однако, не смотря на значительные разработки, геологическое изучение было не систематическим. Так первая геологическая карта, по району включая Южно-Чувальский участок, была составлена в 1885 г. П.И. Кротовым. И только через 20 лет, в 1906 г. Л. Дюпарк составил новую геологическую карту района Чувальских месторождений.

Систематические геолого-съемочные работы с прогнозированием и общими поисками полезных ископаемых начались при советской власти. В 1928-1930 гг. по бассейнам рр. Улса и Велса были проведены поисковые работы на золото и составлены геологические карты отдельных участков масштабов 1:100000 и 1:200000 Авериным и Вейнбергом в 1930 г. В 1940-1941 гг. по району Чувальских железорудных месторождений в 1941 году Симбирцевым составлена геологическая карта масштаба 1:50000. В 1947–1948 гг. на Чувальском месторождении проведена проверка геофизических аномалий бурением.

С 1960 г. началось планомерное геологическое картирование территории Урала масштаба 1:50000 партиями Пермского геологоразведочного треста. В 1966-1968 гг. работами Мойвинской партии треста в бассейне р. Вишера были выявлены многочисленные рудопроявления золота, связанные с гидротермальными кальцито-кварцевыми жилами. В 1969 г. А. М. Зильберман обобщил данные о золотоносности и составил прогнозную карту на коренное и россыпное золото.

В 1966-1969 гг. по объекту были проведены ГСР с предварительными поисками рудного и россыпного золота масштаба 1:50000 [1]. На территории объекта было установлено Расьинское золоторудное поле.

В 2002 г. по территории объекта проведена ГДП масштаба 1:200000 [4]. Было подтверждено Расьинское золоторудное поле и оценены прогнозные ресурсы золота категории  $P_3$  в количестве – 61 т.

В 2006 г. проведено ГДП листа Р-40 масштаба 1:1000000 [2]. Расьинское золоторудное поле и оцененные прогнозные ресурсы золота по нему вошли в состав результатов работ.

В 2017 г. ЕНИ ПГНИУ проведены тематические работы «Научное обоснование перспектив экзогенной и эндогенной рудоносности восточной части Красновишерского района Пермского края» [3], которые подтвердили проявления Расьинского минерагенического поля.

Из всех работ геологического изучения по объекту наиболее весомым и полным являются ГСР масштаба 1:50000, проведенные в 1966-69 гг., при которых были пробурены колонковые скважины станком УПБ-25 с опробованием рудного золота максимальным диаметром 62 мм и глубиной до 30 м.

На участке установлено 2 проявления рудного золота (Расьинское и участок Плита), одно проявление россыпного золота (Александровский Ключ) и 7 пунктов минерализации. Кроме этого по восточной границе участка и в 300 м от нее расположено еще 3 проявления рудного золота (участки Крутой, Резиденция и Чувальская жила). Кроме золота на участке установлены пункты минерализации – 2 свинца, 2 меди и один меди, свинца и цинка [1]. На территорию с юга заходит фрагмент площади Вехне-Чувальского железорудного месторождения. В этом месте на участке развито болото и протекает руч. Болотный.

Проявления и пункты минерализации приурочены к сланцево-карбонатным отложениям сланцевой толщи силура и обусловлены наличием в них серии пластовых жил и прожилков карбонатно-кварцевого состава с золотом, пиритом (в зальбандах) и убогой полиметаллической минерализацией. Жилы разлинзованы и разорваны, местами изогнуты, выполняя своды мелких складок. Во вмещающих породах основная масса проб с весовыми содержаниями золота принадлежит глинисто-известковистым и углисто-известковистым сланцам.

### **Геохимическая изученность**

Детальная геохимическая изученность объекта проведена при ГСР 1969 г. [1]. Геохимические исследования заключались в геохимическом опробовании рыхлых делювиальных, пролювиальных и аллювиальных отложений, коренных пород для установления первичных, вторичных ореолов и потоков рассеивания по 24-м химическим элементам. Опробования по установлению ореолов рассеивания по Расьинскому золоторудному полю было проведено по сети 40х40 м. Однако, спектральные анализы на золото не проводились. Всего проанализировано 4575 проб. По Расьинскому золоторудному полю были составлены моноэлементные, обобщенные полиэлементные карты геохимических аномалий и установлены основные геохимические ассоциации.

На участке развиты свинцово-цинковая, медная и молибден-иттриевая геохимические ассоциации и ассоциации переходные между ними. Проявления рудного золота в центральной части участка по Горе Расья пространственно связаны с аномалиями молибден-иттриевой ассоциации.

Аномалии иттрия могут указывать на постмагматический метасоматоз, связанный с продуктами кислых интрузий с повышенной щелочностью.



Аномалии молибдена могут быть связаны, как с медно-порфировыми формациями, так же и с низкотемпературными гидротермальными формациями метасоматитов. Кроме этого, молибден может интенсивно мигрировать с концентрацией его на геохимических барьерах особенно с углеродом. Этим можно объяснить аномалии молибдена в углистых сланцах. Однако, наличие сульфидов молибдена – молибденита и основных признаков медно-порфирового месторождения не установлено и можно уверенно предполагать, что аномалии молибдена указывают на геохимические барьеры его миграции в сланцах, т.е. на метасоматоз.

Свинцово-цинковые аномалии с барием и серебром развиты по диагональному направлению участка с северо-востока на юго-запад. Медные аномалии тяготеют к южной части участка. Аномалий меди у истоков руч. Болотного отсутствуют. Аномалии иттрий-молибденовые, ассоциирующие с золотом, тяготеют к Горе Расья, возвышенностям водораздела руч. Болотного и р. Расьи и даже отмечается на возвышенности отрогов Березовского Камня, где смешивается с элементами свинцово-цинковых аномалий.

### **Геофизическая изученность**

В 1926 г. Ивановым и Первухиным были проведены первые геофизические работы в близости от объекта – магнитометрические работы по Чувальскому месторождению железа.

В 1954-55 гг. с целью регионального тектонического районирования Р.А. Гафаровым выполнена аэромагнитная съемка 1:1 000 000, а в 1955 г. В.П. Катковым, Г.А. Израилевой и Н.Н. Фурсовым выполнена аэромагнитная съемка западного склона Урала масштаба 1:200 000. Данные работы уже покрывали территорию объекта изучения.

В 1971 г. Просветовым и др. на территории проведена гравиметрическая съемка масштаба 1:200 000. В результате работ, кроме общей характеристики гравиметрового поля, выделены Граничный разлом (граница ЗУЗС и ЦУП) и Дийская региональная гравиметровая аномалия размером 16x10 км за пределами объекта изучения (45 км к северо-западу) предположительно связанная с гранитным глубинным массивом докембрия.

В 1982-86 гг. Аэрогеофизической партией под руководством И.Г. Халымбаджы проведена комплексная аэрогеофизическая съемка 1:10 000 на юго-западной половине листа Р-40-XXIX. Аэромагнитная съемка позволила проследить многочисленные разновозрастные тектонические нарушения, наметить закономерности распределения магнитных горизонтов, блоки разной основности в составе фундамента.

В 1988 г. Ханты-Мансийской партией Баженовской ГФЭ завершены работы по Красноленинскому профилю ГСЗ, а в 1987-92 гг. Аэрогеофизической экспедицией под руководством А.В. Чурсина выполнен Красноленинский геотраверс, совмещенный с Красноленинским профилем ГСЗ, проходящий через территорию листа, который пересекает все структуры Урала – от Предуралья до Красноленинского свода Западно-Сибирской плиты.

Основные геофизические работы по объекту проведены при ГСР-50 1969 г. [1] включали в себя наземную электроразведку и магнитометрию по профилям в крест простирания пород через 500 м.

В процессе проведения ГДП-200 2006 г. листа О-40-XXIX была выполнена переинтерпретация данных предшествующих работ с последующим построением карт: магнитного поля, гравиметрического поля, интерпретации физических полей.

По ВЭЗ ГСР-50 [1] проявления золота распределены в полях сопротивлений ( $\rho_k$ ) <100-200 Ом·м (участки Крутой, Плита, Резиденция) и 400-800 Ом·м (Чувальская жила и Расьинское). По данным [1], удельным сопротивлением до 800 Ом·м обладают силурийские углисто-кремнистые, углисто-глинистые, глинисто-песчано-алевритистые, глинисто-известковистые сланцы и рассланцованные известняки, рассланцованные глинистые известняки. Максимальным удельным сопротивлением до 1800 Ом·м обладают известняки и доломиты массивные и основные интрузии. Так две мелкие аномалии западнее проявления Плита связаны с тектоническим разломом и дайкой.

По магнитометрии ГСР-50 1969 г. [1] проявления золота (Плита, Крутой, Резиденция) расположены на положительном магнитном поле со значениями  $\Delta T$  от 50 до 200 гамм, проявление Чувальская жила в поле с  $\Delta T$  200 гамм и более и проявление Расьинское – в поле отрицательного магнитного поля со значением  $\Delta T \approx -100$  гамм. Такое распределение проявлений золота по магнитным полям обусловлено «загрязнением» от магнитной аномалии Нижне-Чувальского железорудного месторождения. Скорее всего, взаимосвязь между зонами минерализации и рудными телами золота с магнитным полем отсутствует.

### **Геоморфологическая изученность**

В 1948 г. Я.С. Эдельштейном была составлена первая, а в 1963 г. А.П. Сиговым и В.С. Шубом вторая геоморфологическая карта Урала масштаба 1:500000. При ГСР-50 и ГДП-200 [1,4] были составлены геоморфологическая карта масштаба 1:50000 и геоморфологическая схема масштаба 1:500000, которые включают территорию объекта.

По геоморфологической изученности территория участка входит в Вишерскую эрозионно-структурную депрессию мезозойского возраста. Основная поверхность выравнивания по возвышенностям (Гора Расья и пр.) относится к поверхности выравнивания среднего плейстоценового возраста.

Локальные депрессионные формы палеорельефа, погребенные речные долины, морены и иные формы с повышенными мощностями рыхлых отложений не установлены.

Террасы по р. Расье отсутствуют.

Карст развит на карбонатных силурийских отложениях, явно выраженных карстовых явлений на территории участка нет.

В результате анализа сведений об изученности Южно-Чувальского участка можно сказать, что он является достаточно перспективным для исследований и дальнейших разработок. Изучение морфоструктурных, химических, генетических и др. особенностей золота, а также вещественного состава первичных руд и



средних содержаний золота в них в будущем позволят оконтурить участки развития золотоносных минерализованных зон и выявить закономерности распределения и концентрации золота в таких зонах.

#### **Библиографический список**

1. *Аблизин Б. Д., Попов И. Б., Ибламинов Р.Г. и др.* Геологическая карта Урала масштаба 1:50 000. Листы Р-40-106-Б и Р-40-118-Б (Отчет Велсовского отряда о поисково-съёмочных работах на западном склоне Северного Урала в верхнем течении реки Вишеры за 1966–1969 гг.). Т. 1–4. – ГФ «Комитет природных ресурсов по Пермской области», 1971. (ГСП-50, 1969 г.).
2. *Водолазская В.П., Иванов В.Н., Петров Г.А., Зархидзе Д.В., Кириллин С.И. и др.* Государственная геологическая карта Российской Федерации (ГГК РФ) масштаба 1:1000000. Лист Р-40 Объяснительная записка и карты..., ФБУ «ВСЕГЕИ», 2006.
3. *Наумов В.А., Голдырев В.В., Брюхов В.Н., Копылов И.С., Чуйко В.А.* Отчет о научно-исследовательской работе «Научное обоснование перспектив экзогенной и эндогенной рудоносности восточной части Красновишерского района Пермского края» ЕНИ ПГНИУ. Пермь, 2017. 161 с.
4. *Снитко Г.П., Горбунова М.К., Попова Т.Н. и др.* Геологическая карта Урала масштаба 1:200000. Лист Р-40-XXIX.Т. 1–4. – ГФ «Комитет природных ресурсов по Пермской области», 2002. (ГДП-200, 2002 г.).
5. *Попов А.Г.* Глубинный геологический разрез и тектоника Северного Урала // Вестник Пермского университета. Геология. 2017. Т. 16. № 1. С. 26-34.

## **ФОРМИРОВАНИЕ ТЕХНОГЕННО-МИНЕРАЛЬНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ – НОВЫЙ ЭТАП МИНЕРАЛЬНОГО РАЗВИТИЯ ЗЕМЛИ**

Показана роль и место формирования техногенно-минеральных образований (ТМО) как новый этап геологического развития Земли. ТМО влияют на изменение состава земной коры, литосферы, атмосферы, гидросферы, биосферы путем формирования социосферы и новой геологической оболочки Земли – техносферы.

**Ключевые слова:** Техногенно-минеральные образования, техносфера, новый геологический этап развития Земли, геоцентрический подход.

**V.A. Naumov<sup>1</sup>, O.B. Naumova<sup>2</sup>**  
Perm State University, poisk@psu.ru

## **FORMATION OF TECHNOGENIC MINERAL FORMATIONS IS A NEW STAGE OF EARTH MINERAL DEVELOPMENT**

The role and place of formation of technogenic-mineral formations (TMF) as a new stage in the geological development of the Earth is shown. TMT influence the change in the earth's composition's crust, lithosphere, atmosphere, hydrosphere, biosphere by forming the sociosphere and the formation of a new geological shell of the Earth – the technosphere.

**Keywords:** Technogenic mineral formations, technosphere, new geological stage in the Earth's development, geocentric approach.

Мировые глобальные проблемы, в которых находятся наша Земля и общество, в последние годы решаются односторонне. Следует обратить внимание на такое глобальное явление как формирование и факт существования техногенно-минеральных образований или минеральных продуктов формирования техносферы Земли. Существующие в настоящее время проблемы глобального потепления, декарбонизации атмосферы, охраны окружающей среды от негативного воздействия, техногенные риски, устойчивость зданий и сооружений и другие явления природного и техногенного характера обусловлены переходом Земли в новый этап геологического развития.

Современные подходы к изучению Земли носят антропоцентрический характер. Природные явления оцениваются исключительно односторонне, с точки зрения влияния человека на состояние окружающей среды и ее обратной реакции на жизнедеятельность биоты и человека. На конференции в Куэрनावеке в Мексике (2000 г.) голландский химик П. Крутцен [1] ввел термин «антропоцен», как «век людей» (начало в середине двадцатого века), когда эксплуатация ресурсов планеты ускорилась. Он считал «антропоцен» новой эпохой, характеризующейся доминированием человека над биологическими, химическими и геологическими

процессами на Земле, а не как глобальную проблему нового этапа геологического развития Земли.

По предлагаемому нами геоцентрическому подходу развитие человеческой цивилизации, её существование, развитие жизни на Земле следует рассматривать как один из этапов геологического развития Земли под влиянием деятельности человека. Человечество и его техническая деятельность – такой же этап в истории Земли, как развитие наземных животных, динозавров, мамонтов. Земля существовала до их пришествия, существовала при них и будет существовать, в том числе, после ухода человеческой цивилизации с Земли.

Современный геологический этап развития Земли можно рассматривать как этап формирования человеком техногенно-минеральных образований. А именно преобразование земной коры, литосферы, атмосферы, гидросферы, биосферы путем формирования социосферы в новую геологическую и техногенную оболочку Земли – техносферу. Таким образом, одним из главных продуктов, основным результатом минерального развития Земли в человеческую эпоху является её переформирование и создание техногенных минеральных образований. К ним можно отнести: здания и сооружения, строительную и транспортную инфраструктуру, техногенные минеральные образования, преобразованные для благоприятных условий жизни человека и природы.

С другой стороны, происходит мощное освоение именно минерально-сырьевого потенциала, перевод его в полезные для человека минеральные образования. При этом, по факту, происходит накопление так называемых отходов производства и тех же, созданных человеком, техногенных минеральных образований. Таким образом, техногенные минеральные образования выступают в качестве двойной функции: с одной стороны, это минеральная инфраструктура, признанная служить человеку, с другой стороны, это минеральная инфраструктура вредящая человеку – техногенно-минеральные образования, техногенные отходы, которые отравляют существование человека.

Возникает вопрос: почему не используется основная часть добываемых минеральных образований, и мы называем их техногенными отходами? Ведь те и другие – продукт технической деятельности человека.

Принятый во всем мире термин «техногенные отходы» лукавый по своей сути, поскольку техногенные отходы минеральных продуктов отработки месторождений являются ничем иным, как минеральным веществом достаточно не изученным и не используемым в части принесения пользы человечеству. Потому как в основу использования минеральных ресурсов положен принцип экономической целесообразности и «сиюминутной» выгоды отработки минеральных продуктов. Временной лаг «выгоды освоения месторождения» определяется временем окупаемости затрат на извлечение перечня оцененных полезных продуктов. Остальные компоненты месторождения, с точки зрения экономики и законодательства, не являются предметом интереса добывающей промышленности. И не только потому, что они не оценены, но и потому, что считается технологически невозможная или экономически невыгодная их добыча и переработка.

Поэтому термин и объем понятия «техногенные минеральные образования (ТМО)» объединяет и позитивную, и негативную сторону процессов освоения

минерального вещества Земли, приспособления человечества к условиям их использования. Принятие этого термина за основу, выход на понимание процессов преобразования вещественного состава Земли, перевод нашего понимания на уровень геоцентрического подхода является важной теоретической и практической задачей для человечества и несёт заметную политическую роль в формировании нового понимания мироустройства. Человеческая цивилизация есть этап геологической истории развития Земли. Точная продолжительность этого этапа обусловлена геологической деятельностью человека, то есть процесса техногенеза. Насколько продолжительным будет этот этап, зависит от того, как человечество сумеет обращаться с техногенно-минеральными образованиями и как сумеет перевести «негативную» составляющую ТМО в позитивный фактор.

Анализ возникновения, развития и перевода ТМО в позитивный фактор использования – новый путь понимания геологической истории Земли и перспектив дальнейшего будущего. ТМО образования могут быть новым пониманием роли человечества в истории развития Земли и являться новым политическим багажом, с которым можно выходить на новый уровень. Глобальное потепление и другие процессы, связанные с геологической деятельностью человека – лишь следствия освоения им минерального вещества планеты.

Техногенные отходы – законодательное противоречие, термин, принятый для обоснования уровня своей безграмотности и бестолковости. Законодательство по отходам минерального вещества – отход от реальности, обеспечение сиюминутного откупа, лукавый договор между государством и добытчиком, не имеющий ничего общего для сохранения и защиты природы. Как говорят хирурги: «Если начал резать – убери всю опухоль». Мы же в горном производстве отделиваемся полумерами, которые в большей степени приносят вред (плата за отходы), чем пользу. ТМО остаются и продолжают приспосабливаться к окружающей среде. Хотя с формальной точки зрения, в соответствии с существующим законодательством и практикой работы с техногенными отходами – за все заплачено.

Вместе с тем, следует признать, что в освоении минерального вещества человек делает только первый шаг, формирует ТМО. Далее порядок наводит природа. Доводит вещество, выведенное на поверхность до состояния устойчивого равновесия минеральных и химических веществ в этих условиях среды. При этом изменении меняется состав атмо-, гидро-, лито-, биосферы.

ТМО в процессе нахождения в природных объектах существенным образом меняет свой исходный состав в связи с геологическими процессами преобразования вещества, протекающими в отвалах. ТМО – это не стабильная и устойчивая система, а объект с постоянно меняющимися свойствами. Конечными продуктами его развития являются устойчивые к экзогенным условиям продукты физического, химического и биологического выветривания. Неустойчивые комплексы разлагаются и изменяют состав среды, окружающей объект ТМО. Происходит закономерное рассеяние неустойчивых комплексов, которое и приводит к тому, что называют «загрязнением» окружающей среды [4–7]. Следовательно,

необходим пересмотр отношения к ТМО, как важнейшему ресурсу, подлежащему более полному использованию или сохранению его потребительских свойств в процессе нахождения в отвалах или при их переработке [2–3, 8–10].

#### Библиографический список

1. *Paul J. Crutzen* (1933–2021) Ozone Nobel prizewinner who coined the term Anthropocene // *Nature*. Vol. 591. 4 March 2021. d41586-021-00479-0.pdf (nature.com). Дата обращения 26.04.2022.
2. *Макаров В.А.* Геолого-технологические основы ревизии техногенного минерального сырья на золото. Красноярск: ООО «Поликом», 2001. 132 с.
3. *Мирзеханова З.Г., Мирзеханов Г.С., Дебеляя И.Д.* Техногенные образования россыпных месторождений золота: ресурсно-экологические аспекты отработки. Хабаровск, ДВО РАН, 2014. 297 с.
4. *Наумов В.А.* Особенности формирования и распределения благородных металлов в техногенных россыпях и отвалах Урала // *Горный журнал. Известия высших учебных заведений*. 1994. № 8. С. 39–50.
5. *Наумов В.А.* Концепция управления формированием месторождений на примере техногенных россыпей золота // *Естественные и технические науки*. 2010. № 2. С. 262–265.
6. *Наумов В.А.* Минерагения, техногенез и перспективы комплексного освоения золотоносного аллювия. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук / Пермский государственный университет. Пермь, 2010. 42 с.
7. *Наумов В. А., Наумова О. Б.* О направленном формировании россыпных месторождений золота (постановка проблемы) // *Важнейшие промышленные типы россыпей и месторождений кор выветривания, технология оценки и освоения: матер. XI Межд. совещ. Москва-Дубна*, 1997. С. 150.
8. *Техногенное минеральное сырье Урала* / Перепелицын В.А., Рывтин В.М., Коротеев В.А., Макаров А.Б., Григорьев В.Г., Гильварг С.И., Абызов В.А., Абызов А.Н., Табулович Ф.А. Екатеринбург: РИО УрО РАН, 2013. 332 с.
9. *Naumov Vladimir, LeBarge William, Kovin Oleg.* A new insight into origin of the Yukon placer gold // *The 45<sup>th</sup> International October Conference on Mining and Metallurgy. Bor Lake Bor (Serbia)*, 2013. 4 p.
10. *Хазов А.Ф., Наумов В.А., Кудряшова О.С., Наумова О.Б.* Исследование процессов, протекающих в минеральных отвалах золотоплатиновых россыпей // *Химическая промышленность сегодня*. 2015. № 2. С. 7-17.
11. *Наумов В.А., Наумова О.Б.* Формы нахождения и перспективы освоения золота в природных и техногенно-минеральных образованиях Западного Урала // *Вестник Пермского университета. Геология*. 2019. Т. 18. № 1. С. 55-63.

**В.Н. Голдырев<sup>1</sup>, В.А. Наумов<sup>1</sup>, Ю.Г. Пактовский<sup>1</sup>,  
М.М. Агафонова<sup>1</sup>, Н.В. Губанов<sup>2,3</sup>**

<sup>1</sup>ПГНИУ, vgl21297@yandex.ru

<sup>2</sup>ИГМ СО РАН

<sup>3</sup>ИГГ УрО РАН

## **НАПРАВЛЕНИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД АВТОДОРОГИ «НЫРОБ-ВАЛАЙ» (СЕВЕРНЫЙ УРАЛ)**

Исследован карьер, расположенный на автотрассе «Ныроб-Валай» (Чердынский район). Проведены полевые и лабораторные исследования и анализ ранее проведенных работ. Определен ресурсный потенциал, а также перспективность отработки горных пород карьера. Представлены материалы по разработке и использованию месторождений – предполагаемых аналогов объектов, выявленных вдоль трассы.

**Ключевые слова:** Урал, Чердынский район, Ныроб, строительный камень, песчаники, рассольнинская свита, верхний рифей.

**V.N. Goldyrev<sup>1</sup>, V.A. Naumov<sup>1</sup>, Yu. G. Paktovsky<sup>1</sup>,  
M.M. Agafonova<sup>1</sup>, N.V. Gubanov<sup>2,3</sup>**

<sup>1</sup>Perm State University, vgl21297@yandex.ru

<sup>2</sup>IGM SB RAS

<sup>3</sup>IGG UrB RAS

## **OPTIONS OF USE OF THE HIGHWAY "NYROB-VALAI" ROCKS (NORTHERN URALS)**

The quarry located on the highway "Nyrob-Valai" (Cherdyn district) was investigated. Field and laboratory studies and analyses of previous work were carried out. The resource potential as well as mining prospects of quarry rocks are determined. Presented data contains the suggestions of development and use of deposits similar to studied quarry.

**Keywords:** Ural, Cherdynsky district, Nyrob, building stone, sandstones, Rassolninskaya formation, Upper Riphean.

### **Введение**

Поселок городского типа Ныроб расположен в Чердынском районе в северной части Пермского края на расстоянии 361 км от Перми. Чердынский район в плане экономического развития является дотационным. Большая часть территории района занята лесами, поэтому основу промышленности Ныробского округа составляет лесозаготовительная и лесоперерабатывающая отрасли. Однако истощение запасов древесины в освоенных зонах приводит к тому, что увеличивается количество нежилых населенных пунктов, таких как поселок Валай. Одной из причин оттока населения является безработица, особенно в тех местах, где деловая древесина уже вырублена.

Успех развития любого региона определяется тем, каковы перспективы его развития в будущем и как на сегодняшний момент реализованы возможности региона в части формирования привлекательности и эффективного использования

ограниченных ресурсов территории. Большинство ученых [1,2] едины во мнении о том, что уровень экономической и технологической эффективности функционирования всех отраслей региональной экономики напрямую зависит от развития транспортной инфраструктуры, под которой понимается система объектов и сооружений, необходимых для нормального функционирования производства, жизни населения и рационального природопользования. Чердынский район входит в число необеспеченных автодорожной сетью территорий Пермского края [4].

Приоритетным инвестпроектом района является строительство лесопромышленного комплекса в Ныробе, инициированное ООО «Новый Север ЛПК». Особенностью проекта является то, что промышленная площадка и разрабатываемые лесные участки зачастую не связаны между собой круглогодично функционирующими дорогами. Инициаторы проекта ставят перед собой задачу по созданию сети лесных дорог, в том числе строительство основной дороги Ныроб – Талово круглогодичного доступа общей протяженностью свыше 150 км. Данный проект будет способствовать решению социально-экономических проблем Ныробского округа. Несмотря на то, что район исследования обладает практически неограниченным потенциалом для источников строительных материалов, разведанных месторождений нет. Поэтому основной целью исследования является определение путей использования горных пород карьера № 1 автодороги «Ныроб-Валай» и оценка его ресурсного потенциала.

### **Методика исследования**

Полевые работы выполнены в ходе НИР (отв. исп. В.Н. Голдырев) под руководством профессора ПГНИУ, д.г.-м.н. Наумова В.А. в 2020 году. Работы включали следующие виды методов: рекогносцировочные маршруты, документация горных выработок и естественных обнажений, техническое (20-30 кг) и минералогическое опробование коренных пород и делювиально-элювиальных образований.

Комплекс лабораторных работ проведен в Секторе наноминералогии ПГНИУ. Макро- и микроскопическое описание, минералого-петрографический анализ, определение особенностей формирования и возраста пород выполнены аналитиком Ю.Г. Пактовским. Химический состав пород определен методом рентгенофлуоресцентного анализа (РФА), с помощью волнодисперсионного рентгенофлуоресцентного спектрометра последовательного типа действий S8 Tiger. Минеральный состав рассчитан с помощью дифрактометрического анализа (аналитик профессор Б.М. Осовецкий).

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 предшественников, космоснимки), полевых наблюдений и лабораторных испытаний.

**Геологическое строение.** Основу геологического строения территории составляют осадочные породы от протерозойского до неогенового возраста, перекрытые чехлом четвертичных отложений иногда значительной мощности (рис. 1).



Карьер расположен в отложениях рассольнинской свиты ( $RF_{3rs}$ ), которая внизу по разрезу представлена аркозовыми и кварцевыми песчаниками, вверху – алевропесчаниками, алевролитами и аргиллитами с прослоями песчаников [5,15].

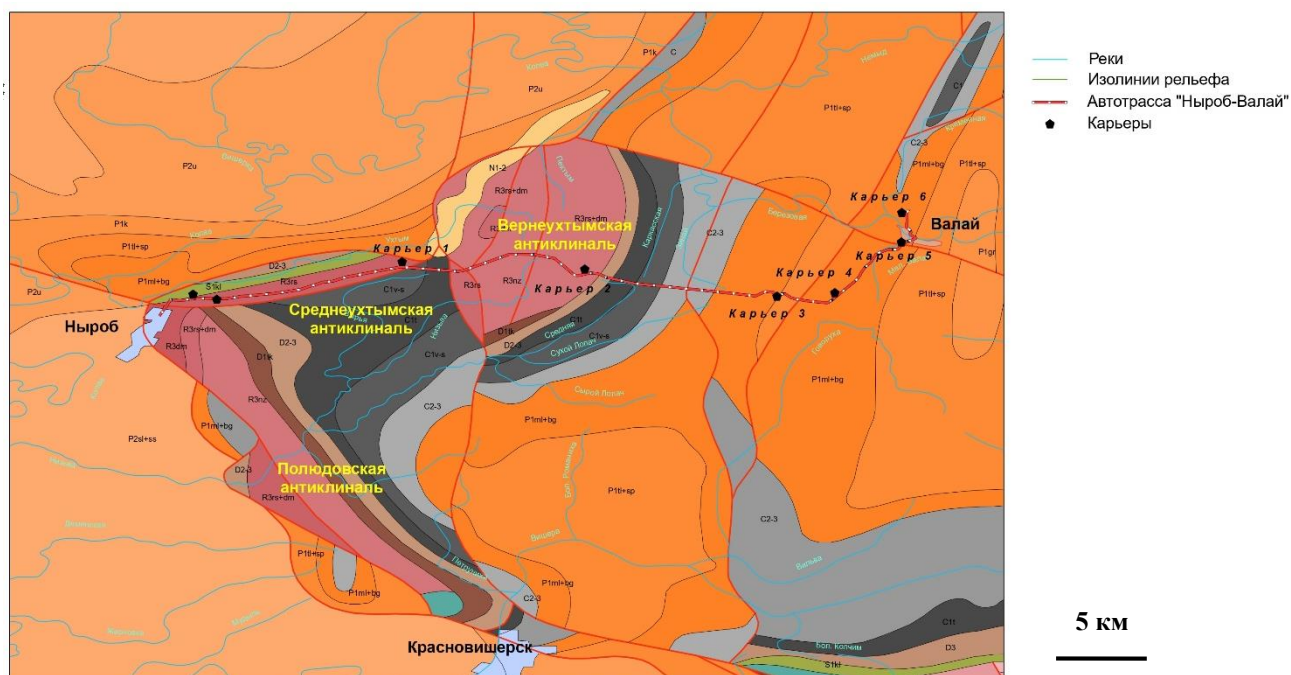


Рис. 1. Геологическая схема (геологическая основа – Водолазская и др., 2005) района исследования

Район исследования относится к Полюдовско-Колчимскому поднятию Щугорско-Вишерской структуры Уральской складчатой области. Структуры поднятия сложены тиманским и уральским структурно-вещественным комплексом, осложнены надвигами и сдвигами. Карьер расположен на Среднеухтымской антиклинали, дислоцированной Байдачским надвигом на востоке и Красновишерско-Ныробским – с остальных сторон. Эти надвиги считаются одной системой, поскольку они схожи по кинематическим и металлогеническим особенностям [10,16]. Вертикальная амплитуда сместителя 3 км, падение восточное –  $35-50^\circ$  [6,7].

Вблизи карьера (около 3 км) в зоне тектонических нарушений выходит на поверхность Полюдово-ксенофоновский лампроитовый инъеционно-эксплозивный комплекс ( $\tau\omega C_{1-2pl-ks}$ ). С востока он перекрыт пологим надвигом, сложенным отложениями верхнего рифея, а с запада ограничен Красновишерско-Ныробским надвигом. Породы комплекса предположительно залегают в форме дайкообразного тела, внедренного по зоне надвига. Инъеционные разности, которые развиты в пределах Полюдовско-Колчимского поднятия, представлены внедрениями лав и туфолов и мелких даек щелочнокалиевых основных магматических пород.

В пределах района предыдущими исследователями выделен Ухтымско-Низьвенский россыпной алмазоносный район, где в результате поисковых работ уста-

новлена спорадическая алмазоносность долинных россыпей рек Средняя и Байдач, верхнего течения р. Низьва [8,9,13,17]. Помимо этого, обнаружены шлиховые потоки с содержанием золота

**Характеристики карьера.** Карьер № 1 расположен на 16 км автодороги «Ныроби-Валай». Длина карьера около 250 м, ширина – 140 м. Площадь составляет 26 166 м<sup>2</sup>. Карьер состоит из двух уступов (рис. 2). Нижний располагается на отметке 340 м, а верхний уступ на отметке 345-355 м. Высота бортов карьера 5-15 м.

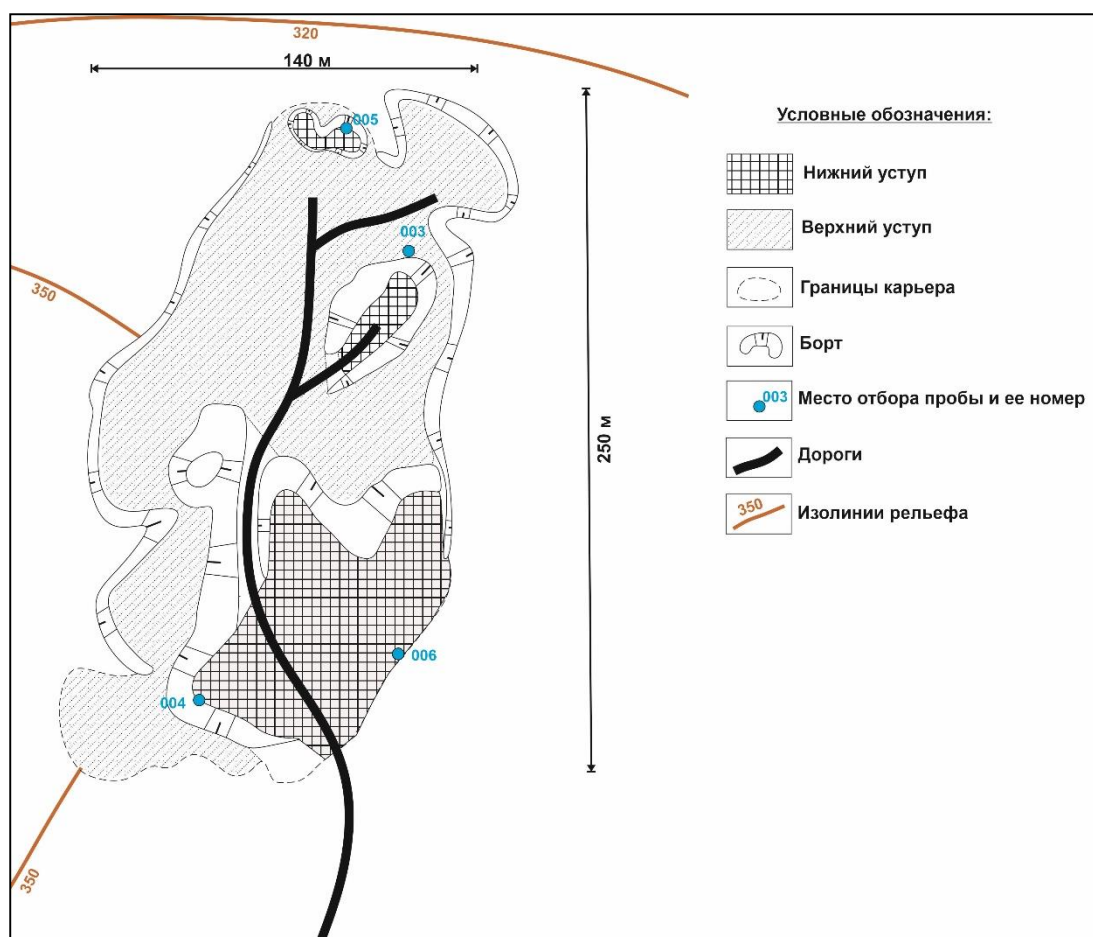


Рис. 2. Схема карьера №1

Делювиально-элювиальные отложения (вскрышные породы) карьера составляют не более 1 м. Коренные породы представлены полевошпат-кварцевыми песчаниками буро-вишневого, реже светло-бурого цвета (рис. 3). Породы обладают плитчатой и призматической отдельностью с сегментами до 1,5 м.

Карьер расположен в пределах зоны тектонических нарушений (Красновисерско-Ныроби-Валайского надвига). Этот факт подтверждают находки прослоев тектонических брекчий (рис. 4), сложенных обломками кварца серого цвета и полевых шпатов белого и темно-зеленого цвета.

В пределах карьера были отобраны 4 технические пробы из визуально различных отложений. Однако результаты аналитических работ указывают на аналогичность их вещественного состава.





Рис. 3. Общий вид центральной части карьера №1



Рис. 4. Тектоническая брекчия с обломками кварца и полевых шпатов

**Макроскопическое описание пород.** Породы карьера представлены песчаником вишнево-красным полевошпат-кварцевым, в основном, мелко-среднезернистым, трещиноватым, плотным, крепким. Зёрна полевых шпатов белого и розового цветов выветрены до мучнистого состояния. Обращают на себя внимание отдельные крупные призматической формы зёрна (до 5–12 мм) полевых шпатов

бледно-розового цвета (рис. 5). Зёрна кварца в разной степени окатаны, в основном, угловато окатаны, конформно прилегают друг к другу. Роль цемента частично играют выветрелые полевые шпаты, конформно располагающиеся между зернами кварца, а также тонкие пленки тонкодисперсного гематита. Полевых шпатов около 20% от объема породы. Общий красный цвет породы обусловлен тонкодисперсным гематитом. Преобладает цементация вдавливания.

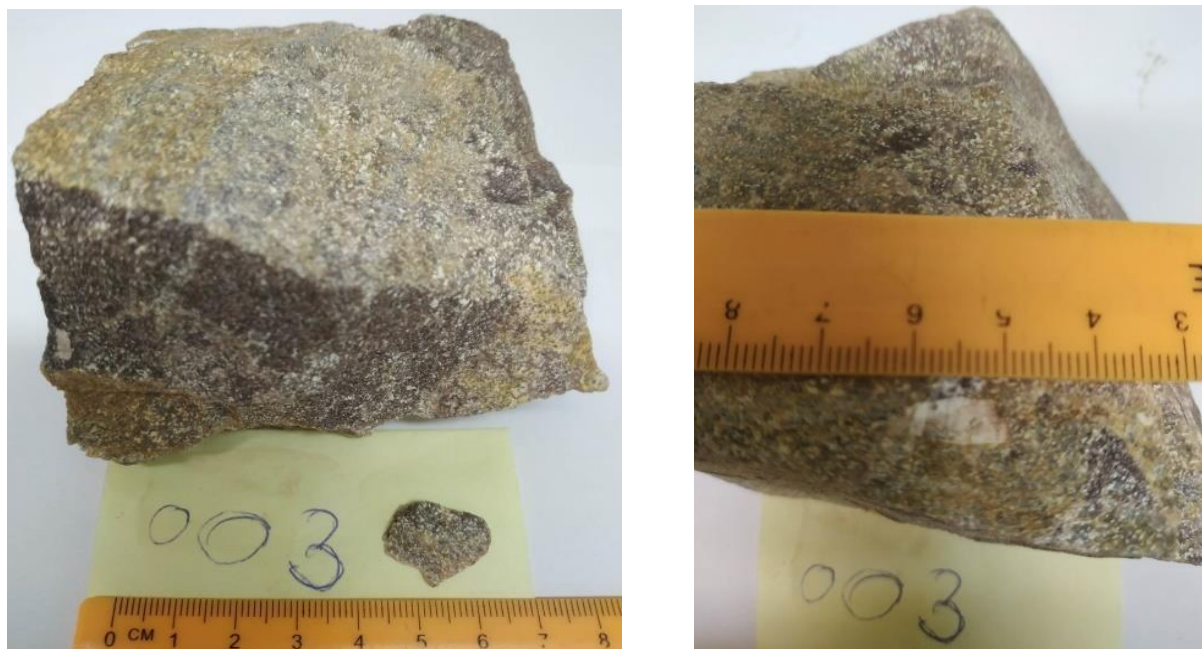


Рис. 5. Общий вид образца (1). Крупное 12 мм зерно полевого шпата в породе (2)

Трещины в образце породы разнонаправленные, тонкие, сомкнутые. Часть трещин трассируется более обильным выделением полевых шпатов и ржаво-желтыми пленками гидроксидов железа.

В целом, можно сказать, что порода является продуктом разрушения пород кристаллического фундамента, изменена до стадии позднего катагенеза, но не метаморфизована. По полевым шпатам возможно развитие гидрослюд, но нет серицита; также не отмечены другие минералы зеленосланцевой фации. В литологической классификации песчаников породу можно отнести к олигомиктовым и к аркозовым песчаникам.

Судя по направлению трещин, порода испытала несколько циклов тектогенеза. Возможным возрастным аналогом может быть комплекс древних допалеозойских пород.

**Вещественный состав пород.** Литофильные элементы значительно преобладают в валовом химическом составе пород (табл. 1). Сумма кремнезема и глинозема составляет 94,83%. На окислы железа приходится менее 1%, следовательно, породы относятся к слабоокисленным. Суммарное количество остальных окислов не превышает 0,5%. Халькофильные элементы (свинец, медь, цинк, галлий) присутствуют в ничтожно малых количествах, менее кларковых.

Таблица 1. Химический состав пород карьера №1

Компоненты	Массовая доля, %	Компоненты	Массовая доля, г/т
SiO <sub>2</sub>	88,06	Ba	69
TiO <sub>2</sub>	0,06	Cu	38
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,77	Zn	7
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,72	Pb	20
MnO	<0,01	Ni	4
CaO	0,17	Sr	42
MgO	<0,01	V	1
Na <sub>2</sub> O	0,17	Rb	11
K <sub>2</sub> O	<0,01	Zr	68
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	<0,01	Ga	7
S	0,02	La	18
ППШ	1,13	Nb	10
<b>Сумма</b>	<b>97,10</b>	Co	59
		Cr	<1

Главными породообразующими минералами (рис. 2), слагающими породы, являются – кварц, калиевой полевой шпат и глинисто-гидрослюдистые минералы (гидрослюда, каолинит). В незначительных количествах отмечается плагиоклаз. Процентное соотношение основных породообразующих минералов следующее: кварц – 87,2%, КПШ – 4,4%, глинисто-гидрослюдистые минералы – 7,0%.

Таблица 2. Минеральный состав пород карьера №1

Минерал, группа минералов	Массовая доля, %
Кварц	87,2
Калиевый полевой шпат	4,4
Плагиоклаз	1,4
Каолинит	4,7
Слюда (гидрослюда)	2,3
Хлорит	0
Кальцит	0
Доломит	0
<b>Сумма</b>	<b>100,0</b>

### Направления использования.

Коренные породы (кварциты и кварцевые песчаники) карьера могут быть использованы в качестве щебня для местных нужд (в основном для строительства лесовозных дорог). Объект перспективен для оценки как потенциальное месторождение строительных материалов. При мощности коренных пород 10-15 м, ресурсы строительного камня в пределах карьера составят около 200 000 м<sup>3</sup>. Приrost ресурсов возможен за счет увеличения размеров и глубины карьера. Кварцевые песчаники в приповерхностной части плитчатые и не требуют дальнейшей переработки, обладают большой мощностью и широким площадным распространением.

Помимо строительства дорог материал может быть потенциально интересен и для других направлений, оценка которых может быть предметом дальнейших работ. Рассмотренные нами породы карьера №1 по своим характеристикам схожи



с месторождением «Шокшинских кварцитов», состав [14] и благородная окраска которых аналогична (рис. 6). Однако необходимо оценить возможность блочности и перспективы использования в качестве пильного камня.



Рис. 6. Шокшинское месторождение малиновых кварцитов (Карелия)

Таким образом, коренные породы карьера могут быть использованы в качестве сырья в строительной индустрии: брусчатка, бут, поребрик, щебень, плитка, облицовка и т.д. Однако, известно, что шокшинские кварцито-песчаники могут быть использованы (и уже используются – например, в Карелии на Кондопожском заводе) в качестве футеровочной плитки. Они традиционно являются одним из лучших сортов (в мировом масштабе) облицовочного материала, используются они и как поделочный материал, и в индустрии изготовления сувениров (они использовались при изготовлении саркофага Наполеона в Париже, памятника Неизвестному Солдату в Москве, памятников в Санкт-Петербурге, Петрозаводске, Ялте и другие) [11, 12].

### **Заключение**

Проведенные работы позволяют считать ресурсы песчаников фактически неисчерпаемыми на исследуемой территории. В пределах карьера целесообразно провести бурение и поставить ресурсы на баланс. Развитие горнодобывающей промышленности и камнелитейного производства будет способствовать обеспечению строительных работ в Чердынском районе. Исходя из вышеизложенного и принимая во внимание тот факт, что кварцевые песчаники являются фактически мономинеральным сырьем для камнелитейного производства, и что создание такого производства наиболее эффективно в непосредственной близости к месту

добычи, мы считаем возможным рекомендовать в качестве такового район поселка Ныроб. Такое производство позволит решить вопрос с трудоустройством населения этого района. Помимо этого, создание и развитие транспортной инфраструктуры будет способствовать повышению геологической изученности ранее труднодоступных территорий. Будут созданы благоприятные экономико-социальные условия для выявления других полезных ископаемых (алмазов, благородных металлов, полиметаллов).

### Библиографический список

1. *Биянков О.А.* Теория экономического пространства: Методологический и региональный аспекты. Томск: Изд-во Томск. унта, 2004. 151 с.
2. *Буторина О.В., Постников В.П.* Выявление взаимосвязи развития транспорта и экономики: временной и региональный аспект исследования // Вестник УРФУ. Серия: Экономика и управление. 2014. № 2. С. 17–25.
3. *Водолазская В.П. и др.* Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 (третье поколение). Уральская серия Лист Р-40 (Североуральск). Объяснительная записка. – СПб.: Изд-во СПб картфабрики ВСЕГЕИ, 2005. 332 с.
4. *Голубева К.А., Дубровская Ю.В.* Транспортная инфраструктура как фактор пространственного развития экономики // Инновационное развитие экономики: тенденции и перспективы. Т. 1. 2019. С. 198-209.
5. *Григорьев Л. В., Попов В. В. и др.* Отчет Ныробского отряда о поисково-съёмочных работах на западном склоне Северного Урала (бассейн р. Колвы) в 1968-1972 гг. Т.1-4. ГФ «Комитет природных ресурсов по Пермской области», 1972.
6. *Заварзин Б. А.* Отчет по работам СРП 7/90 в Чердынском и Красновишерском районах Пермской области (нефть, газ). Т.1 и 2. ГФ «Комитет природных ресурсов по Пермской области», 1991.
7. *Заварзин Б. А.* Отчет по работам СРП 9/93 в Красновишерском и Соликамском районах Пермской области (нефть, газ). Т.1 и 2. ГФ «Комитет природных ресурсов по Пермской области», 1995.
8. *Зильберман А. М., Качанов А. Н., Харитонов Т. В. и др.* Отчет по теме: «Составление прогнозной карты масштаба 1:200 000 алмазоносных районов Урала на поиски первоисточников алмазов за 1982-85 гг». Т.1-15. ГФ «Комитет природных ресурсов по Пермской области», 1985.
9. *Зильберман А. М., Цыганков В. А.* Отчет по теме: «Систематизация и анализ геологических и геофизических материалов на Красновишерском, Чусовском и Краснокамском перспективных полях с целью переоценки аномалий и прогнозирования кустов кимберлитовых и лампроитовых тел». Т.1-3. ГФ «Комитет природных ресурсов по Пермской области», 1994.
10. *Пактовский Ю.Г.* Стадийность геологического развития территории Южного Прикамья в позднем протерозое // Вестник Пермского университета. Геология. 2019. Т. 18, № 2. С. 108124.
11. *Потравнов А.Л., Хмельник Т.Ю.* История добычи Шокшинского кварцита для саркофага Наполеона. Ученые записки Петрозаводского государственного университета. 2020. Т. 42. № 8. С. 85-92.
12. *Путин В.В.* Стратегическое планирование воспроизводства минерально-сырьевой базы региона в условиях формирования рыночных отношений: Санкт-Петербург и Ленинградская обл.: автореферат дис. ... кандидата экономических наук: 08.00.05 / Санкт-Петербургский горный ин-т. Санкт-Петербург, 1997. 23 с.
13. *Ратпорт М.С., Левин В.Я.* Алмазоносность Урала (достижения и задачи для дальнейших исследований) // Геология и металлогения Урала. Кн. 1 Екатеринбург, 1998, с. 256-277.
14. *Симанович И. М.* Эпигенез и начальный метаморфизм шокшинских кварцито-песчаников. М.: Наука, 1966. 120 с.



15. *Снитко Г.П. и др.* Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1: 200 000. Издание второе. Серия Пермская. Лист Р-40-XXVIII (Колва). Объяснительная записка. – М.: МФ ВСЕГЕИ, 2015.
16. *Степанов И. С., Сычкин Г. Н.* Отчет о наземной проверке результатов дешифрирования (НПД) и материалов аэро- и космических съемок (МАКС) масштаба 1 : 50 000 на междуречье Вишеры и Березовой за 1988-91 гг. Т.1-4. ГФ «Комитет природных ресурсов по Пермской области», 1991.
17. *Унифицированные корреляционные стратиграфические схемы Урала* (докембрий, палеозой). Екатеринбург, 1994.

## **ИЗУЧЕНИЕ ЗОЛОТОНОСНОСТИ СОВРЕМЕННОГО АЛЛЮВИЯ Р. ТУЛВЫ В ПРЕДЕЛАХ ТУЛВИНСКОГО ЗАЛИВА ВОТКИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА (Р. КАМА)**

Аннотация работы по изучению золотоносности современного аллювия р. Тулвы в пределах Тулвинского залива Воткинского водохранилища проведены дополнительно к геологическому изучению Ирьяковского участка недр, оцененного как месторождение гравийно-песчаных смесей и строительного песка. Золотоносность участка выявлена по методике Пермского университета на основе изучения отсеков проб из песчано-гравийного материала. Золото извлечено по гравитационной схеме путем обогащения на винтовом шлюзе и последующей тяжелосредной сепарации.

**Ключевые слова:** Воткинское водохранилище, золото, Ирьяковский участок, Пермский край, месторождение гравийно-песчаной смеси.

**A.A. Paderin, D.A. Chegodaeva**  
PGNIU, saintlow0@mail.ru

## **THE STUDY OF THE GOLD-BEARING POTENTIAL IN THE MODERN ALLUVIUM OF THE TULVA RIVERS WITHIN THE TULVINSKY BAY OF THE VOTKINSKOGO RESERVOIR (KAMA R.)**

Work on the study of the gold content of modern alluvium of the river. Tulva within the Tulvinsky Bay of the Votkinsk Reservoir were carried out in addition to the geological study of the Iryakovo subsoil area, which was assessed as a deposit of gravel-sand mixtures and construction sand. The gold content of the area was determined according to the methodology of the Perm University based on the study of screenings of samples from sand and gravel material. Gold is extracted according to the gravitational scheme by enrichment in a screw lock and subsequent heavy-medium separation.

**Key words:** Votkinskoe reservoir, gold, Iryakovskiy site, Perm region, gravel-sand mixture deposit.

### **Введение**

В настоящее время аллювий рек Урала и Приуралья оценен как комплексный минеральный ресурс ввиду возможностей использования его не только в качестве строительного материала, но и как источник россыпного золота и других мелких ценных минералов (МЦМ), имеющих множество промышленных направлений [1,2]. Золотоносность р. Тулва и Воткинского водохранилища (р. Кама) ранее была изучена Наумовым В.А. в пределах Крыловского месторождения и недалеко от с. Горы. Результатом этого изучения стала идентификация россыпного золота в песчано-гравийных отложениях с содержанием от 4 до 10 мг/м<sup>3</sup> [3].

Данное исследование проведено в рамках геологического изучения Ирьяковского участка недр с перспективной залежью гравийно-песчаных отложений, которая по количеству запасов квалифицируется как «средняя» [4].

### Физико-географическое положение

В административном отношении участок работ площадью 2,26 км<sup>2</sup> расположен в Осинском городском округе Пермского края, в русле Тулвинского залива р. Кама, в 300 м западнее поселка Ирьяк (рис. 1).

Геоморфологически участок приурочен к русловой части реки.



Рис. 1. Положение участка «Ирьяковский» и Крыловского месторождения на обзорной карте, масштаб 1:100000

### Методика исследования

Отбор проб и описание керна пробуренных скважин проводились Падериным А.А. Для данного исследования было отобрано 10 проб песчано-гравийного материала из 4-х скважин, расположенных в субмеридиональном направлении (рис. 2).

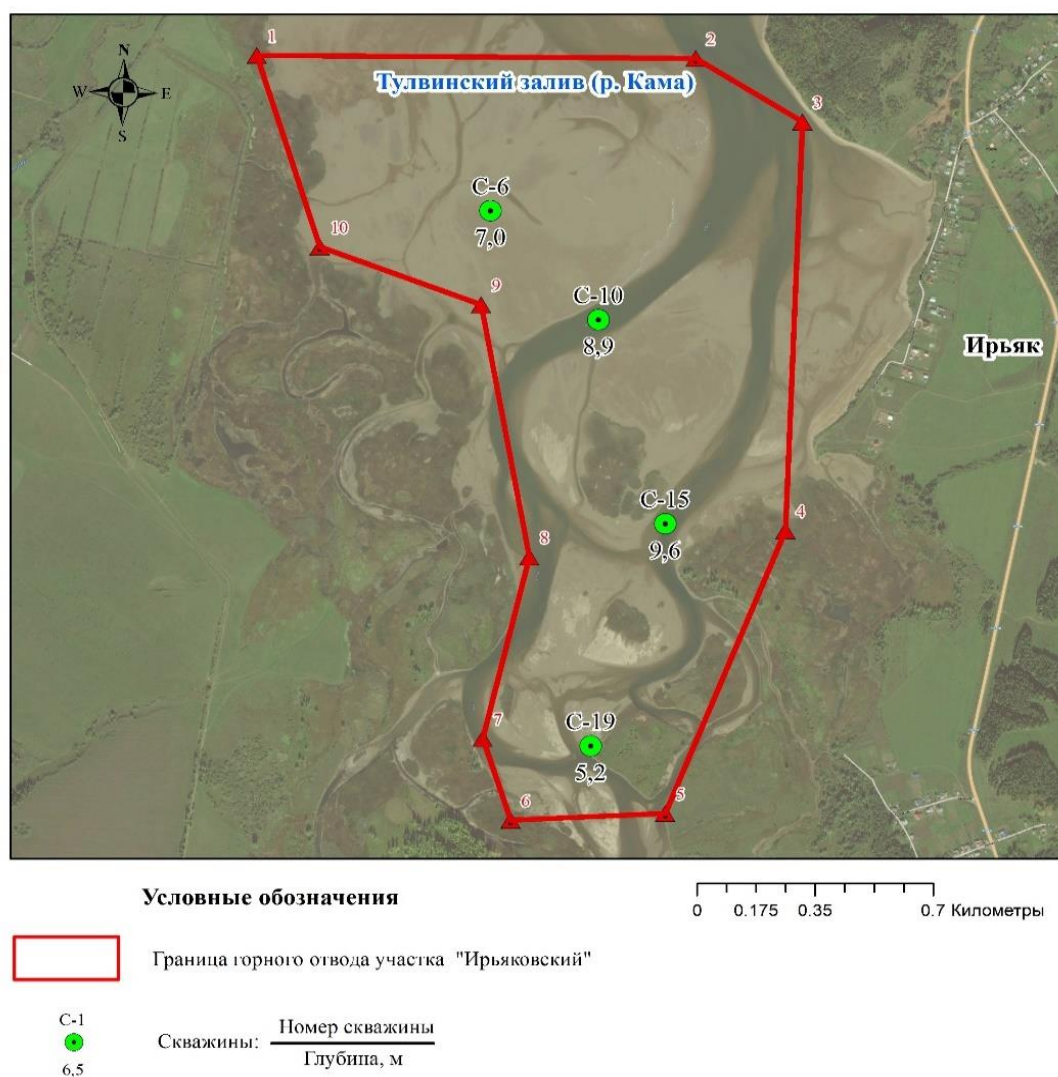


Рис. 2. Схема расположения скважин

В геологическом строении разреза скважин (рис. 3) (сверху вниз) принимают участие аллювиальные четвертичные отложения:

Песок от темно-коричневого до темно-серого мелкозернистый от слабоглинистого до глинистого, местами обводненный, с единичными включениями гравия размером до 10 мм. Мощность слоя 0,3-0,7 м.

Супесь песчанистая мягкопластичная коричневая с включениями органического вещества. Мощность слоя 0,4-0,5 м.

Суглинок мягкопластичный темно-серый. Мощность слоя 1,2 м.

Песчано-гравийный слой коричневый, обводненный, с содержанием гравия до 50% размером до 70 мм, глинистость до 20%. Мощность 4,7-8,9 м.

Глина рыже-коричневая тугопластичная. Вскрытая мощность 0,1 м.

Суглинок тугопластичный темно-серый до черного, с включениями гальки до 10% до 10 мм. Вскрытая мощность 0,2 м.

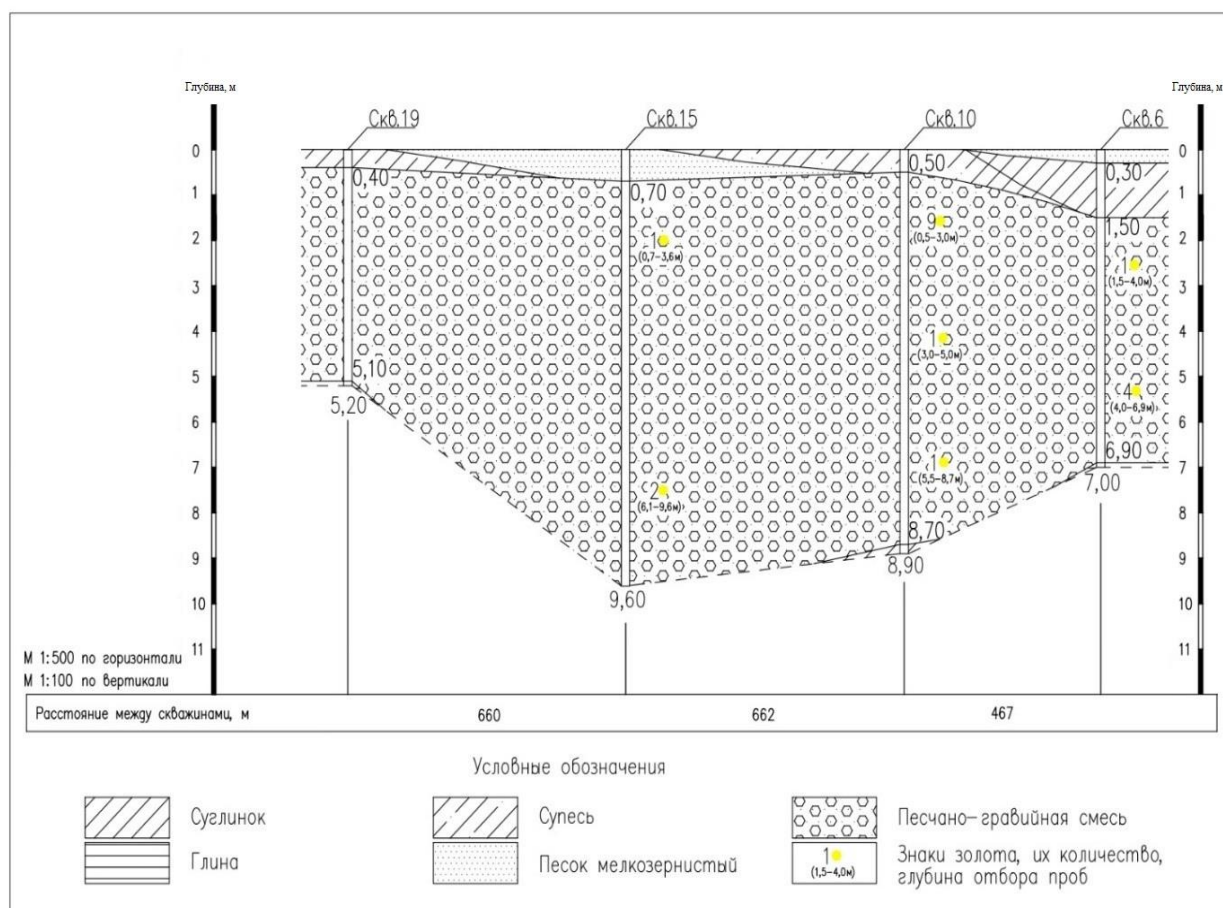


Рис. 3. Геолого-литологический разрез скважин

Отобранные пробы с целью подготовки их к обогащению обрабатывались по следующей схеме: замерялся их вес, отмучивалась глинистая фракция, отсеивался обломочный материал с размером зерен более 2 мм.

Обломочный материал крупностью менее 2 мм обогащался на винтовом шлюзе. Далее из концентрата винтового шлюза были удалены минералы магнитной фракции, а затем была отделена тяжелая фракция при тяжелосредной сепарации в бромформе с получением в итоге ультраконцентрата.

## Результаты

Ультраконцентраты просмотрены под биноклем. Минералогический состав его преимущественно хлоритовый, в небольшом количестве отмечено присутствие минералов: гематит, эпидот, циркон, ильменит. Далее из ультраконцентрата были отобраны знаки золота. Всего в ходе исследования было выделено 19 знаков золота. Изучены гранулометрический состав, морфология, степень окатанности, характер поверхности золотин.

Золото обнаружено в 7 пробах из 10 отобранных (табл. 1). Его содержание в современном аллювии русла Тулвинского залива реки Кама колеблется от 0,1 до 11,0 мг/м<sup>3</sup>, среднее значение 5,3 мг/м<sup>3</sup>. В четырех пробах содержание золота приблизительно соответствует кларковому [3] (табл. 1).

Ранее в аллювии р. Тулвы уже было зафиксировано содержание золота в пределах от 4 до 10 мг/м<sup>3</sup> с размером золотин до 0,25 мм [3]. Полученные данные по

золотоносности в целом подтверждают полученные ранее данные для верхнего и среднего течения р. Тулва и продолжают зону фоновой золотоносности далее в устьевую часть.

Таблица 1. Содержание и число знаков золота

Номер пробы и глубина отбора	Число знаков	Масса, мг	Содержание мг/м <sup>3</sup>
6-3 (гл. 1,5-4,0 м)	1	<0,05	0,1*
6-4 (гл. 4,0-6,9 м)	4	0,05	7,8
10-1 (гл. 0,5-3,0 м)	9	0,07	11,0
10-2 (гл. 3,0-5,5 м)	1	<0,05	1,4*
10-3 (гл. 5,5-8,7 м)	1	<0,05	1,0*
15-2 (гл. 0,7-3,6 м)	1	<0,05	7,4*
15-3 (гл. 3,6-6,1 м)	-	-	-
15-4 (гл. 6,1-9,6 м)	2	<0,05	8,3*
19-1 (гл. 0,4-2,9 м)	-	-	-
19-2 (гл. 2,9-5,1 м)	-	-	-

\*приведенные значения содержания вычислены математически

Гранулометрический анализ золота показал следующие особенности распределения его частиц по крупности (табл. 2). Замер производился под биноклем с помощью окуляр-микрометра по среднему поперечнику. Далее они были отнесены к классам крупности (мм): >0,50; 0,50-0,45; 0,45-0,40; 0,40-0,35; 0,35-0,30; 0,30-0,25; 0,25-0,20; 0,20-0,15; 0,15-0,10; <0,10.

В аллювиальных отложениях русла Тулвинского залива реки Кама преобладают размерности класса 0,15-0,20, в меньшей степени класса 0,10-0,15 и <0,10. Наиболее крупные знаки имеют размеры до 0,43х0,42 мм (проба 6-4).

Таблица 2. Гранулометрический состав золотин

Класс	Число знаков	Доля, %
<0,10	4	21,1
0,10-0,15	4	21,1
0,15-0,20	5	26,3
0,20-0,25	3	15,8
0,25-0,30	2	10,5
0,30-0,35	-	-
0,35-0,40	-	-
0,40-0,45	1	5,3
0,45-0,50	-	-
>0,50	-	-
$\Sigma$	19	100,0

Отличительной особенностью морфологии золота является преобладание частиц сильно уплощенного облика (форма чешуйчатая, пластинчатая) (рис. 4). На поверхности явно прослеживаются следы механической деформации. Некоторые зерна в результате дальнего сноса согнуты и запечатаны по длинной оси,



также наблюдаются и зерна с рваными и закатанными краями. Поверхность зерен неровная, шероховатая, в тонких бороздах, царапинах. В основном золото чистое, не покрыто пленками, не содержит включений первичных рудных минералов. Балл окатанности соответствует 3-4 по Н.В. Петровской [5]. Окраска золотин во всех пробах ярко-желтая. В целом такое золото является типичным для областей дальнего сноса и неоднократного перетотложения.

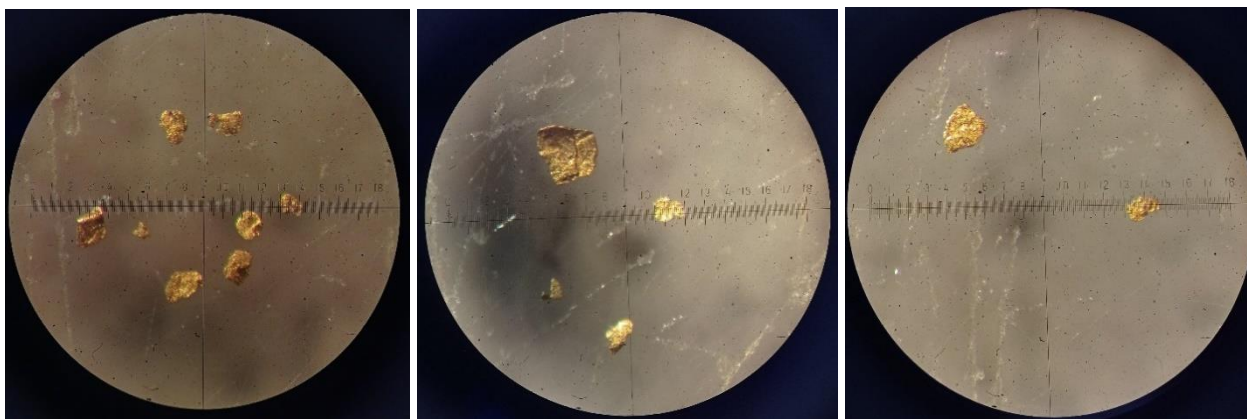


Рис. 4. Морфология знаков золота аллювия русла Тулвинского залива реки Кама

## Выводы

Исследуемый участок может быть отнесен к золотоносным песчано-гравийным месторождениям с низким содержанием строительного песка. Содержание строительного песка варьируется от 19,6% до 57,8% [6].

По геолого-экономическим параметрам данный участок может быть классифицирован как перспективный для попутного получения концентратов с золотом, так как исходное содержание золота составляет 0,1-11,0 мг/м<sup>3</sup>. Комплексная разработка таких месторождений позволит, с одной стороны, улучшить качество песков как строительного сырья путем удаления алеврито-пелитовых частиц, с другой стороны – получить отсев, обогащенный золотом и другими ценными минералами. Отсев песка фракции менее 0,3 мм приводит к увеличению концентрации золота до 15 мг/м<sup>3</sup>, а фракции менее 0,15 мм – до 130 мг/м<sup>3</sup>.

После обогащения отсева на винтовом шлюзе концентрация золота возрастает до нескольких граммов на кубометр и может быть доведена до промышленно значимой, пригодной для металлургического передела [3].

Помимо золота, промышленный интерес в изучаемых отложениях представляют и другие мелкие ценные минералы, получение которых достигается попутно с извлечением золотого концентрата. Среди них циркон, ильменит, а также минералы магнитной фракции. Применение процессов принудительной дифференциации для получения таких концентратов уже доказало свою эффективность на аналогичных исследуемых современных аллювиальных отложениях Пермского края [7,8].

В подавляющем большинстве случаев недропользователи не видят экономической ценности в комплексном освоении своих месторождений, поскольку в связи с настоящим законодательством такой процесс может иметь определенные



бюрократические сложности. Потому основная цель подобных исследований состоит в привлечении внимания недропользователей к вопросу комплексного освоения месторождений, тогда как многими учеными, в т.ч. из ПГНИУ, уже разработаны технологические схемы комплексной разработки месторождений аллювиальных толщ [1,2].

#### **Библиографический список**

1. *Лунев, Б.С.* Комплексно осваивать песчаные и песчано-гравийные месторождения Прикамья /Б.С. Лунев, В.А. Наумов, О.Б. Наумова // Строительные материалы. 1996. № 3.
2. *Наумов, В. А.* Комплексное изучение и использование месторождений песка и гравия пермского края / В.А. Наумов, Б.С. Лунев, О.Б. Наумова // Перспективы науки. – 2010. – № 1(3). – С. 5-9.
3. *Наумов, В. А.* Минерагения и перспективы комплексного освоения золотоносного аллювия Урала и Приуралья / В.А. Наумов. – Пермь: Пермский государственный национальный исследовательский университет, 2011. – 162 с.
4. *Методические рекомендации* по применению Классификации запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых (Утверждены распоряжением МПР России от 05.06.2007 г. № 37-р). Песок и гравий. Москва, 2007;
5. *Петровская Н.В.* Самородное золото. М.: Наука, 1973. 375 с.
6. *ГОСТ 8736-2014* «Песок для строительных работ. Технические условия», М, 2015;
7. *Наумов, В.А.* Мелкие ценные минералы россыпей / В. А. Наумов, Б. С. Лунев, О.Б. Наумова // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки. – 2010. – № 4(158). – С. 123-126.
8. *Лунев, Б.С.* Мелкие ценные минералы в аллювии Пермского края / Б.С. Лунев, В.А. Наумов, О.Б. Наумова // Естественные и технические науки. – 2011. – № 3(53). – С. 250-251.

## **МИНЕРАЛОГО-ПЕТРОГРАФИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ УЧАСТКА ЕВРОПЕЙСКИЙ ГОРНОЗАВОДСКОГО РАЙОНА**

Минералого-петрографическое изучение горных пород участка Европейский Горнозаводского района. Для изучения текстурно-структурных особенностей и минерального состава горных использовались макроскопический, микроскопический метод и количественный рентгенофазовый анализ.

**Ключевые слова:** метаморфические породы, сланцы, участок недр Европейский, минералого-петрографический анализ, рентгенофазовый анализ.

**T.A. Petunina, E.M. Tomilina**  
Perm State University, tanushap57@gmail.com

## **MINERALOGICAL-PETROGRAPHIC STUDY OF THE EVROPEYSKIY AREA, GORNOZAVODSKOY REGION**

Mineralogical and petrographic study of rocks of the site of the Evropeyskiy area. Macroscopic, microscopic method and quantitative X-ray phase analysis were used to study textural and structural features and mineral composition of rocks.

**Key words:** metamorphic rocks, shales, the Evropeyskiy area, mineralogical-petrographic analysis, X-ray phase analysis.

### **Введение**

Участок геологической съемки Европейский находится в восточной части Горнозаводского района в 16 км от рабочего посёлка Промысла, в 12 км от трассы Пермь – Екатеринбург и в 4 км от железнодорожной станции Европейская. Геологическое строение территории определяется её принадлежностью к Уральской складчатой области и двум крупным тектоническим структурам I-го порядка: ЦентральноУральскому поднятию (ЦУП) и Тагильско-Магнитогорскому прогибу (ТМП). ЦентральноУральское поднятие представлено тремя структурами II-го порядка: Кваркушско-Каменногорским мегантиклинорием байкалит, сложенным горными породами неопротерозоя ( $PR_3$ ), Улсовско-Висимским мегасиклинорием и Безгодовско-Пашийской синклинальной структурой уралит, состоящих оба из пород палеозоя (PZ) [1]. Образования вендского и нижнепалеозойского возраста Центрально-Уральского поднятия смяты в складки, интенсивно разбиты нарушениями субмеридиального направления. На рассматриваемой площади происходит сближение зон Тылайско-Промысловского надвига, Европейского, Теплогорского, Чекменского и Ивановско-Серебрянского субмеридиальных региональных разломов.

### *Методы исследования*

Исследования выполнены авторами статьи с использованием аппаратуры Центра коллективного пользования и Сектора наноминералогии ПГНИУ. Для описания были отобраны 5 образцов из шурфов разных поисковых профилей участка Европейский. Было приведено изучение шлифов на поляризационном микроскопе Olympus BX51 (Япония), где в процессе описания шлифов были использованы оптические свойства, характеризующие главные пороодообразующие компоненты [3,4] и был поведен рентгенофазовый анализ образцов, который выполнялся с применением рентгеновского порошкового дифрактометра D2 Phaser (фирма «Bruker», ФРГ).

### *Результаты исследования и вывод*

Макроскопически породы бежевого, темно-коричневого, серого цвета с перламутровым отливом. Для них характерны афанитовые, гомеобластовые, лепидобластовые, гранобластовые структуры, плотные, сланцеватые текстуры. Породы с раковистым изломом, средней крепости. В минеральном составе кварц, полевые шпаты, амфиболы, слюды.

При более детальном изучение пород выявилась разница в минеральном составе, в текстурно-структурных особенностях и во вторичных изменениях. Количественный минеральный состав определялся с помощью рентгенофазового анализа (таблица 1), что позволило более точно типизировать горные породы по Петрографическому кодексу 2009 года [5].

Таблица 1. Минеральный состав образцов (аналитик – Томилина Е.М.)

Название минерала	Содержание, %				
	обр. №1	обр. №2	обр. №3	обр. №4	обр. №5
Кварц	48	0	13	38	0
Альбит	37	62	53	2	38
Слюды	15	0	0	0	0
Хлорит	0	16	15	5	9
Актинолит	0	15	7	9	42
Эпидот	0	2	7	44	7
Диопсид	0	3	4	1	2
Титаномагнетит	0	2	1	1	2
<b>Сумма</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

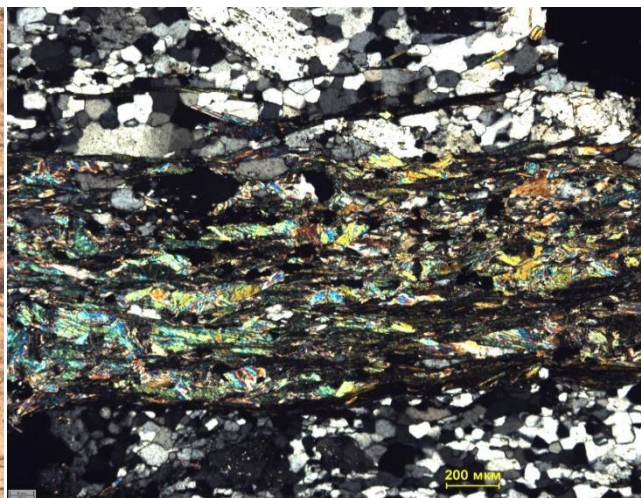
Данные образцы горных пород относятся к метаморфическим породам фации зеленых сланцев. Образец №1 представлен слюдяным альбит-кварцевым сланцем, с характерной сланцевой текстурой, микрозернистой, лепидогранобластовой структурой. В минеральном составе преобладает кварц, серицитизированный альбит, мусковит и его микрочешуйчатая разновидность серицит.

Образец №2 и №3 представлены актинолит-хлорит-альбитовыми сланцами, которые практически схожи по минеральному составу и текстурно-структурным особенностям. Для каждого из них характерна сланцеватая текстура, микрозернистая, нематогранобластовая структура. Основная масса породы представлена альбитом размером менее 0,02 мм, чешуйчатым хлоритом и шестоватым и иголь-

чатыми кристаллами актинолита размером 0,1-0,5 мм. Но в 3 образце на альбитовой массе наблюдаются включения кварца в виде линз размером от 0,3 до 2 мм в длину при толщине 0,2-0,6 мм. Так же для данной породы участками характерна микроплочатость, которая обусловлена мелкими складками актинолита и альбита отличительной формы от основной массы.

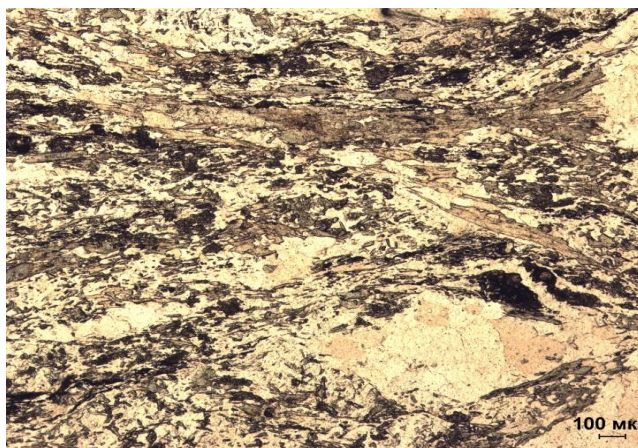


Фотография фрагмента шлифа  
без анализатора

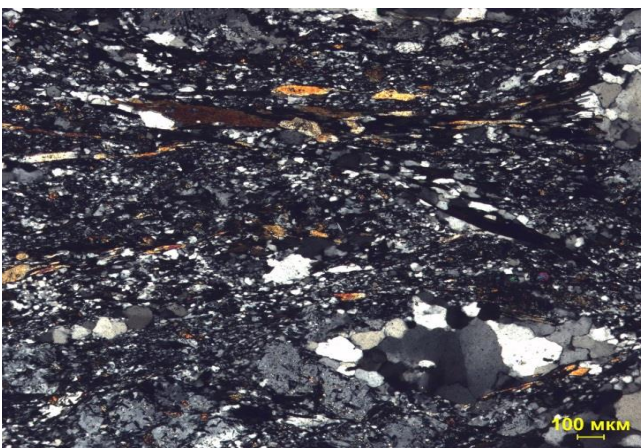


Фотография фрагмента шлифа  
с анализатором

Рис. 1. Образец №1. Мусковит-альбит-кварцевый сланец



Фотография фрагмента шлифа  
без анализатора



Фотография фрагмента шлифа  
с анализатором

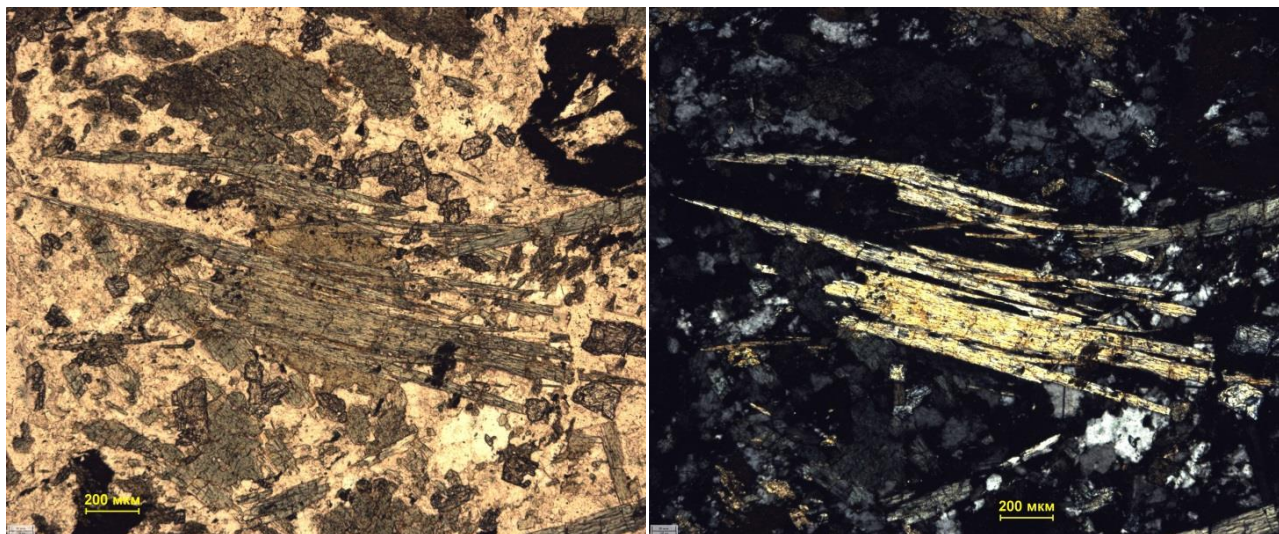
Рис. 2. Образец №3. Актинолит-хлорит-альбитовый сланец с линзами кварца.

Образец №4 представлен кварц-эпидотовым сланцем. Сланцеватость выражается плохо в шлифе под микроскопом, в основном текстура массивная. Структура породы микрозернистая, нематогранобластовая. Минеральный состав представлен зернами кварца размером менее 0,12 мм, зернами эпидота размером менее 0,15 мм.

Образец №5 представлен альбит-актинолитовым сланцем и очень сильно отличается от предыдущих пород. Структура породы мелко-микрозернистая с размерами зерен от 0,08 до 2 мм, гетеробластовая, гранонематобластовая. Минеральный состав представлен преобладанием плагиоклазов кислого состава (альбит) субизометрической формы с размерами зерен менее 0,12 мм и шестоватыми



и призматическими кристаллами актинолита размером 0,4-2,0 мм. Кроме этого, встречаются субизометрические зерна эпидота и титаномagnetита, который практически полностью замещен лейкоксенom.



Фотография фрагмента шлифа без анализатора      Фотография фрагмента шлифа с анализатором

Рис. 3. Образец №5. Альбит-актинолитовый сланец

Данные образцы относятся к породам метаморфического происхождения и имеют высокую прочность, низкое поглощение, отсутствие вредных химических веществ, длительный срок службы, надежность, что позволяет им быть использованными в строительстве, сланец считается одним из модных отделочных материалов.

#### Библиографический список

1. Блинов С.М., Ибламинов Р.Г., Исаева Г.А., Казымов К.П., Осовецкий Б.М., Седунова А.П. Минерально-сырьевая база Пермского края для производства базальтового волокна: справочник / под ред. Ибламинова Р.Г.; Перм.гос.нац.исслед.ун-т.-Пермь, 2015. С. 6-7.
2. Ибламинов Р.Г. Петрография (магматические, метаморфические, метасоматические и импактные горные породы): учеб. пособие / Р.Г.Ибламинов, Н.Е.Молоштанова, А.М.Шехирева; под ред. Ибламинова Р.Г.; Перм. гос. нац. исслед. ун-т. – Пермь, 2012. С. 25-125.
3. Краснощёкова Л. А. Породообразующие минералы и структуры кристаллических пород: учебное пособие. Томск: Изд-во ТПУ 2009. С. 64-70.
4. Лодочников В.Н. Главнейшие породообразующие минералы. Издание 5-е, испр. и доп. Под ред. В.С. Соболева. М., «Недра», 1974. С 38-200.
5. Петрографический кодекс России. Магматические, метаморфические, метасоматические, импактные образования. Издание третье, исправленное и дополненное. СПб: ВСЕГЕИ, 2009. С. 54-59.

## **МИНЕРАГЕНИЯ КОЛПАКОВСКОЙ ПЛОЩАДИ (СРЕДНИЙ УРАЛ)**

В статье рассмотрены минерагенические особенности Колпаковской площади (Горнозаводский р-н, Пермский край). Были описаны несколько пунктов рудопроявления золота на территории Колпаковской площади и вблизи её. Выделены факторы локализации золотого оруденения: тектонический, минерагенический, геоморфологический, магматический, метасоматический, геохимический, геофизический, минералогический.

**Ключевые слова:** минерагения, золото, Пермский край, рудопроявления, минерагеническая зона, факторы оруденения.

**A.L. Artemov**

Perm State University, artiomartemow@yandex.ru

## **MINERALOGY OF KOLPAKOVSKAYA SQUARE (MIDDLE URALS)**

The article considers the minerogenic features of Kolpakovskaya square (Gornozavodsky district, Perm Krai). Several points of gold ore occurrence on the territory of Kolpakovskaya square and near it were described. The factors of localization of gold mineralization are identified: tectonic, mineragenic, geomorphological, magmatic, metasomatic, geochemical, geophysical, mineralogical.

**Keywords:** minerageny, gold, Perm Krai, ore occurrences, minerogenic zone, mineralization factors.

**Фактический материал** предоставлен ООО «УралГеолПоиск» в 2021 г.

**Объект исследования.** Колпаковская площадь на Среднем Урале (Горнозаводский р-н, Пермский край).

**Расположение объекта исследования.** Территория Колпаковской площади находится недалеко от поселка Промысла в Горнозаводском районе Пермского края. Рядом находится станция Европейская. В 5 км на север от поселка находится гора Колпаки – ландшафтный памятник природы регионального значения. Территория площади принадлежит к Урало-Новоземельскому складчатому поясу, представляющему западную, обнажающуюся на современном срезе, часть Урало-Сибирской эпигерцинской области завершённой складчатости. Площадь исследований находится в полосе между Центрально-Уральским поднятием и Тагило-Магнитогорским прогибом, в пределах Салатимской подзоны, выделенной из состава Тагильской мегазоны на стыке палеоконтинентального и палеоостроводужного секторов, что обусловило сложное тектоническое строение.

Согласно Уральской серийной легенде, Колпаковская площадь находится в пределах Урало-Новоземельского минерагенического пояса (отвечает западному

сегменту Урало-Монгольского складчатого пояса), в пределах которого Салатимской зоне соответствует Верхнеманьинско-Синегорская редкометально-железо-золоторудная минерагеническая зона (Au, Fe, R/€<sub>3</sub>-O, MZ) (рис. 1). Зона выражена узкой протяженной полосой непосредственно к западу от Главного Уральского разлома и вмещает разноранговые объекты преимущественно золото-кварцевой формации [2].

Удаленные от интрузий объекты (как правило, золото-сульфидной или золото-кварцевой формаций), которые не обнаруживают заметных генетических связей с магматитами обычно рассматриваются как телетермальные. Малые месторождения и проявления, относимые к последнему рудноформационному типу, объединяются в Кедровско-Промысловский золоторудный узел (Au/€<sub>3</sub>-O, P). Как локальный минерагенический таксон данного ранга он выделен по результатам ГДП-200 листа О-40-ХVIII [2]. Здесь следует отметить, что при ГДП-200 выделены Кварцевогорский и Елизаветинско-Хионинский рудные узлы в пределах Сурьинско-Промысловской золоторудной минерагенической зоны. Оба этих узла объединены Кедровско-Промысловский золоторудный узел [2]. Золоторудные объекты сосредоточены преимущественно в кварцевых или альбит-кварцевых жилах среди окварцованных и пиритизированных сланцев колпаковской свиты. Минерализация может быть связана с гранит-порфирами и плагиогранит-порфирами позднего ордовика. Отмечается приуроченность месторождений и проявлений к зонам двух продольных региональных разломов; определенный объем жильного окварцевания может быть связан с герцинской коллизионной активизацией.

Для олигоцен-четвертичного возрастного интервала районирования в секторе Урало-Новоземельского минерагенического пояса выделяются две минерагенические зоны: Западно-Уральская алмазо-золотороссыпная (Au, di/P<sub>3</sub>-Q) и Восточно-Уральская платино-золотороссыпная (Au, Pt/P<sub>3</sub>-Q). Граница между ними обычно проводится по фронтальной части Главного Уральского глубинного разлома, разделяющего складчатую систему на западную и восточную региональные полосы, поставляющие в позднекайнозойские долины и депрессии разный набор россыпных минералов. В каждом из упомянутых таксонов фиксируются промышленные россыпи, не говоря о многочисленных россыпепроявлениях и шлиховых потоках.

В Западно-Уральской россыпной минерагенической зоне, к которой относится и проектируемая площадь, выделяются четыре комплексных узла с ведущей ролью золота, сгруппированные в Койвинско-Чусовской алмазо-золотороссыпной район [2]. Колпаковская площадь находится в пределах Койвинского алмазо-золотороссыпного узла, который включает несколько россыпей самого различного ранга.

На территории Колпаковской площади вблизи её известно несколько пунктов минерализации и рудопроявлений золота, приуроченных к зонам метасоматической проработки, связанной с тектоническими нарушениями и гранитоидами.



Рудопроявления «Кварцевая Гора», «Медвежье», «Европейское», «Кутинское», «Мало-Именновское».

*Рудопроявление «Кварцевая Гора»* расположено в 7 км к юго-востоку от пос. Промысла. Представлено кварцево-кальцитовыми прожилками в филлитовых сланцах ордовика. Содержание сульфидов менее 1 %. Содержание золота до 0,5 г/т. Эксплуатировалось до 1917 г.

*Рудопроявления «Медвежье»* представляет собой штольню, вскрывшую кварцевую жилу с сульфидами мощностью 3,5-4,0 м.

*Рудопроявление «Европейское»* находится близ ж.д. ст. Европейская. Представлено вкрапленными и массивными колчеданными рудами, в верхней части окисленными до бурых железняков. Содержание золота в первичных рудах от 0,2 до 3,4 г/т, содержание цинка до 1,7 %.

*Рудопроявление «Кутинское»* разрабатывалось до 1912 г. и приурочено к зоне тектонического нарушения. Шахтой отрабатывались кварцевые жилы, содержащие золото, пирит, халькопирит. Вмещающие породы представлены метасоматически и гидротермально изменёнными слюдисто-хлорито-кварцевыми сланцами. Южнее, в зоне нарушения, встречаются кварцевые жилы с обильной вкрапленностью магнетита, реже гематита, пирита. По данным пробирного анализа в рядовой пробе содержания золота составляют 0,5 г/т, серебра 0,6 г/т.

*Рудопроявление «Мало-Именновское»*, представляющее собой несколько старательских шахт и шурфов, приурочено к замку антиклинальной складки. Вмещающие породы серицитизированы, хлоритизированы, альбитизированы, окварцованы. Кварцевые жилы содержат вкрапленность пирита и халькопирита. Содержание золота колеблется от следов до 0,3-0,7 г/т, серебра – от следов до 5,6 г/т.

Согласно работам [6] оруденение контролируется зонами региональных тектонических нарушений субмеридионального простирания (Тылайско-Промысловский, Кварцевогорский, Европейский, Ивановско-Серебрянский и Чекменский разломы) и узлами их пересечения с субширотными разломами и зонами растяжения северо-западного простирания, где образуются области повышенной трещиноватости, смятия и брекчирования пород. Рудовмещающей является терригенно-базальтовая формация колпаковской, пальничнинской и выйской свит среднего и верхнего ордовика. Золотое оруденение связано с интрузиями кислого состава и вмещающими их метасоматически изменёнными породами.

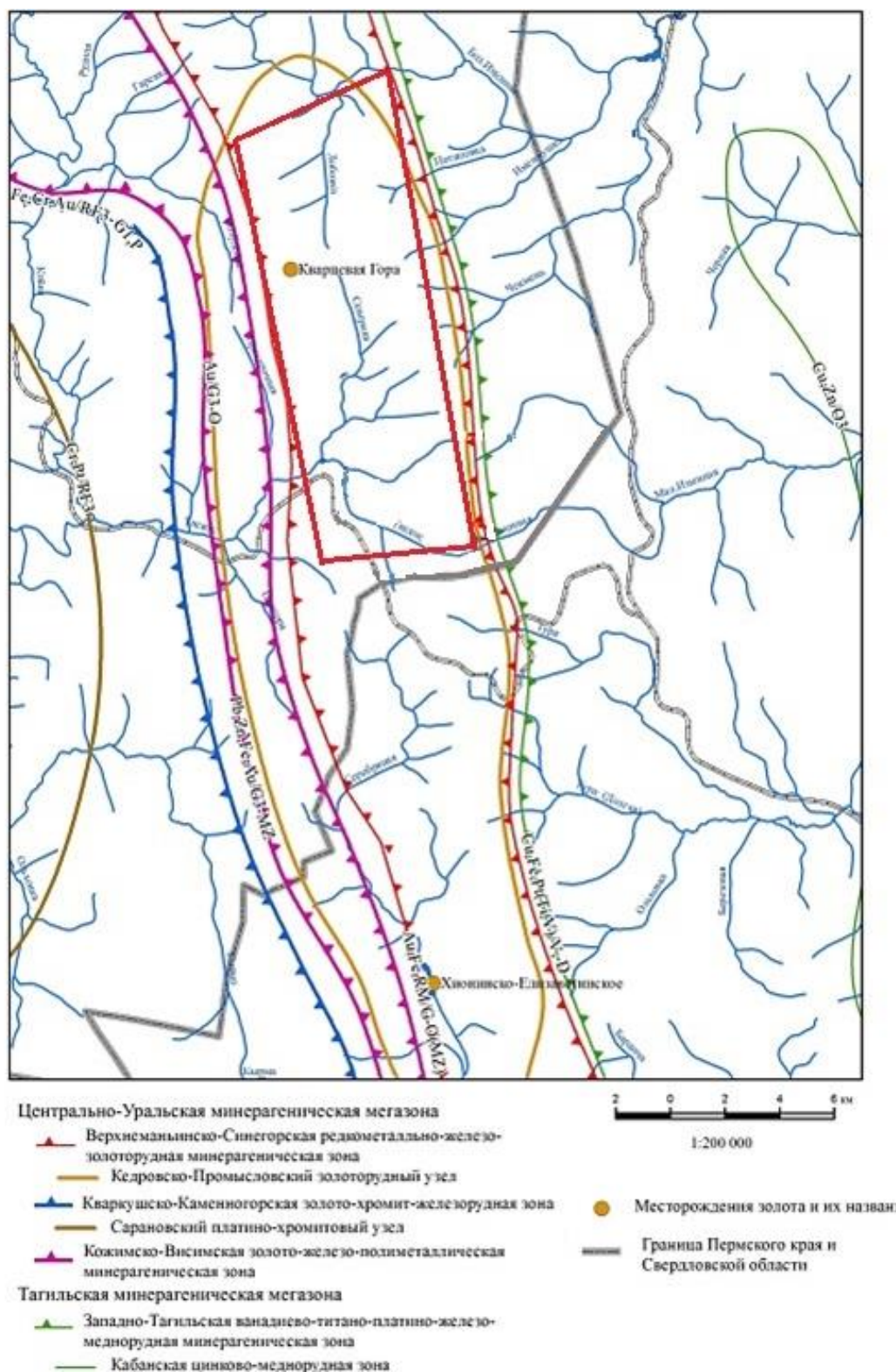


Рис. 1. Схема минерагенического районирования западной половины листа О-40-ХVIII (Госгеолкарта, лист О-40, 2015).

Характерны березитизация, лиственитизация, окварцевание, карбонатизация. Зоны метасоматитов контролируются аномальными содержаниями Cu, Zn, Pb, Ag, As, Co, Ba, Mo, Au. Известные месторождения и рудопроявления сопровождаются россыпями. Таким образом, резюмируя вышесказанное, можно выделить следующие факторы локализации золотого оруденения Колпаковской площади:

*Тектонический фактор.* Колпаковская площадь расположена в зоне сочленении Центрально-Уральского поднятия и Тагило-Магнитогорского прогиба, в пределах Салатимской переходной зоны, характеризующейся сложной пликативной и дизъюнктивной тектоникой. Оруденение контролируется зонами региональных тектонических нарушений субмеридионального простирания Тылайско-Промысловский, Кварцевогорский, Европейский, Ивановско-Серебрянский и Чекменский разломы и узлами их пересечения с субширотными разломами и зонами растяжения северо-западного простирания.

*Минерагенический фактор.* Колпаковская площадь находится в пределах Кедровско-Промыслового золоторудного узла Верхнеманьинско-Синегорской редкометально-железо-золоторудной минерагенической зоны с известными месторождениями и проявлениями рудного золота золото-сульфидно-кварцевой формации: Кварцевогорского и Елизаветинского-Хионинского.

*Геоморфологический фактор.* Благоприятной обстановкой для формирования террасовых комплексов являются уступообразные переходы от остаточных гор к предгорьям; сопутствующее этому резкое изменение продольного и поперечного профиля речных долин способствует повышению концентрации осаждаемого золота в связи с изменением скорости водных потоков. О наличии россыпной золотоносности говорят следы старых разрезв в долинах рек Черной, Гаревки и Тискоса.

*Магматический фактор.* Наличие субвулканических образований кислого состава и связанных с ними метасоматических образований, благоприятных для локализации золотого оруденения.

*Стратиграфический фактор.* Наличие пород гетерогенного состава: частая смена вулканогенных и терригенных фаций.

*Метасоматический фактор.* Наличие кварц-серицитовых, кварц-серицит-хлоритовых, березитоподобных метасоматитов с локальными полями березит-лиственитовых метасоматитов.

*Геохимический фактор.* Комплексные первичные и вторичные ореолы золота, свинца, меди, цинка, молибдена, серебра, бария.

*Геофизический фактор.* Наличие магнитных аномалий в зоне Чекменского и Ивановско-Серебрянского разломов, к которым приурочены проявления коренной золотоносности.

*Минералогический фактор.* Россыпи, шлиховые ореолы и шлихо-минералогическо-геохимические аномалии золота и его минералов-спутников. Золотоносные кварц-сульфидные жильно-прожилково-вкрапленные зоны.

## **Библиографический список**

1. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1: 200 000. Издание второе. Серия Среднеуральская. Лист О-40-ХVIII (Кушва). Объяснительная записка / Петров Г.А.; Тристан Н.И.; Николаев Н.М. и др. – СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2001, 247 с. Пермский филиал ФБУ ТФГИ по ПФО № 10702.
2. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 (третье поколение). Уральская серия – Лист О-40 (Пермь). Объяснительная записка. Авторы: В.П. Водолаская, И.П. Тетерин, В.А. Кириллов, Л.И. Лукьянова, Г.А. Петров. Редактор: А.В. Жданов. – СПб.: Изд-во СПб картфабрики ВСЕГЕИ, 2015. 376

3. *Ибламинов Р. Г., Алванян А. К.* Региональная минерагения общераспространенных полезных ископаемых (на примере Пермского края): монография / Р. Г. Ибламинов, А. К. Алванян; Перм. гос. нац. исслед. ун-т. – Пермь, 2018. – 120 с.; ил.
4. *Ибламинов Р.Г., Осовецкий Б.М., Пузик А.Ю.* Поперечная зональность и скрытая слоенность рудного тела главного сарановского месторождения, Западный Урал, Россия // Вестник Пермского университета. Геология. 2019. Т. 18. № 3. С. 237-252.
5. *Петров Г.А.* Геология и минерагения зоны Главного Уральского разлома на Среднем Урале. – Екатеринбург: Изд-во Уральского гос. Горного ун-та, 2006. – 195 с.
6. *Тетерин И.П., Суслов С.Б.* Магматизм и металлогения Теплогорского разлома // Магматизм и геодинамика. Кн.4. Петрология и рудообразование. – Уфа, инст-т геологии УНЦ РАН, 1995. С. 132-134.

**В.Н. Голдырев<sup>1</sup>, В.А. Наумов<sup>1</sup>, А.В. Зобачев<sup>1</sup>,  
К.Н. Калина<sup>1</sup>, К.А. Пушин<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>ПГНИУ, vg121297@yandex.ru

<sup>2</sup>КФУ, г. Казань

## **ПОТАПОВСКИЕ ПРОЯВЛЕНИЯ ЗОЛОТА (СРЕДНИЙ УРАЛ)**

В статье изучен бассейн ручья Потаповка с целью выявления потенциальных коренных источников золота восточного склона Среднего Урала. Определены поисковые критерии рудного и россыпного золота на данной территории. Проведены полевые и лабораторные исследования золотоносности и анализ проведенных ранее работ. Показаны морфологические особенности частиц золота из современного аллювия рек района исследования.

**Ключевые слова:** Урал, Промысла, Потаповка, Бол. Именная, россыпь, золото, месторождение.

**V.N. Goldyrev<sup>1</sup>, V.A. Naumov<sup>1</sup>, A.V. Zobachev<sup>1</sup>,  
K.N. Kalina<sup>1</sup>, K.A. Pushin<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Perm State University, vg121297@yandex.ru

<sup>2</sup>Kazan Federal University, Kazan

## **POTAPOV OCCURRENCES OF GOLD (MIDDLE URALS)**

The article examines the basin of the Potapovka stream in order to identify potential indigenous sources of gold of the eastern slope of the Middle Urals. The search criteria for ore and placer gold in this territory have been determined. Field and laboratory studies of gold content and analysis of previous work were carried out. Morphological features of gold particles from the modern alluvium of the rivers of the study area are shown.

**Keywords:** Ural, Promysla, Potapovka, Bol. Imennaya, placer, gold, deposit.

### **Введение**

Большинство рек, расположенных в пределах Сурьинско-Промысловской золоторудной минерагенической зоны, содержат промышленные россыпи золота (рис. 1). В северной части к ним относятся р. Койва с притоками Полуденка, Северная, Тискос; Бол. и Мал. Именная, Тура, Тура Долгая и др. в южной – реки Серебряная, Лая и Бандея с притоками. Известно более 100 россыпей, большинство из которых отработано. Только в Промысловском районе за всю историю было добыто порядка 8 т россыпного золота.

Однако, несмотря на повсеместную золотоносность рек района, месторождений и рудопроявлений рудного золота с промышленными концентрациями не обнаружено. Месторождение Кварцевая Гора на сегодняшний день является единственным объектом в Пермском крае, на котором был произведен подсчет запасов золота  $C_1 + C_2 = 1396$  кг со средним содержанием 1-3 г/т. Месторождение отработывалось в XIX в. шахтным способ. Всего добыто около 1,4 т золота [1,2].

Оруденение месторождение Кварцевая Гора связано с Тылайско-Промысловским надвигом, который, вероятно, является источником питания россыпей западного склона Среднего Урала (р. Полуденка, р. Северная, р. Тискос и др.) [3,4].

Цель исследования – определение потенциальных коренных источников, питающих россыпи восточного склона Среднего Урала – р. Бол. Именная с притоками р-р. Потаповка, Именнушка, Чекмень.



Рис. 1. Расположение участка исследования на минерагенической схеме

### Методика исследования

Полевые работы проведены в 2020 г. в ходе НИР (отв. исп. В.Н. Голдырев) под руководством профессора ПГНИУ, д.г.-м.н. Наумова В.А. 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 отложений (техногенных, аллювиальных) руч. Потаповка. Обогащение проводилось на канадском лотке (малообъемные пробы) и на винтовом шлюзе (больше объемные – более 50 л) с предварительным отсевом класса менее 3 (реже минус 4 мм) в баке с водой. Объем переработанной породы по р. Потаповка составил 0,35 м<sup>3</sup>. При опробовании было обнаружено 43 знака 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.

## Объект исследования

Район исследования находится на восточном склоне Среднего Урала. В геологическом отношении относится к Тагильскому мегасинклинию [5]. Долины рек находятся в зоне развития метаморфических и вулканогенных образований ордовикского возраста. Породы представлены серицит-хлорит-альбит-кварцевыми, серицит-кварцевыми, филлитовидными углеродистыми сланцами, кварцито-песчаниками с прослоями мраморизованных известняков и метавулканитов. Породы содержат многочисленные кварцевые, карбонат-кварцевые, альбит-кварцевые прожилки, жилы и линзы.

На территории исследования известна россыпь золота по руч. Потаповка. Ширина золотоносного участка – 154 м; глубина залегания золотоносного пласта – 0-3 м (в среднем – 2,8 м). Среднее содержание золота – 0,153 г/м<sup>3</sup>. Ориентировочно запасы золота в нижнем течении – 0,15 т. Разработка россыпи велась в верхнем и среднем течении старателями с 1870 г. К 1917 г. по ориентировочным данным добыто 30 кг золота (максимальное содержание золота – 1-2 г/м<sup>3</sup>). Позже работы проводились Исовским прииском. Россыпь мезозой-кайнозойского возраста. Золото в основном связано с миоцен-плиоценовыми и верхнеолигоценовыми отложениями, слабозолотоносным является аллювий четвертичного возраста. Вблизи расположены россыпи по руч. Именнушка (старателями добыто около 100 кг золота) и по р. Бол. Именная (ориентировочные запасы – 850 кг золота), которая разрабатывается с 1830-х годов [6].

## Поисковые критерии

В пределах изучаемого объекта можно выделять ряд геологических факторов, позволяющих предполагать наличие рудопроявлений золота (рис. 2).

*Стратиграфические предпосылки.* К числу стратиграфических предпосылок относятся принадлежность метасоматитов района к общему для Урала золото-рудному металлогеническому этажу, т.к. абсолютный возраст лиственитов Промысловского района (346 млн лет по К-Ag методу) хорошо согласуется с возрастом лиственитов ряда золоторудных месторождений Среднего Урала, в том числе Шульгинского (342 млн лет), Березовского (351 млн лет) и других [7-9]. Отложения верхневыйской, нижнепальничинской и нижневыйской подсвет ордовикского возраста вмещают рудопроявления золото-кварцевой и золото-сульфидно-кварцевой формации.

*Литологические предпосылки.* Являются косвенными и заключаются в развитии на площади морских вулканогенно-осадочных и карбонатных литоформаций, содержащих в своем составе породы с углистым веществом. При наличии источников золоторудной минерализации, благоприятных тектонических и климатических условий, а также фациальной обстановке накопления углистые сланцы способны к локализации в них золотого оруденения.



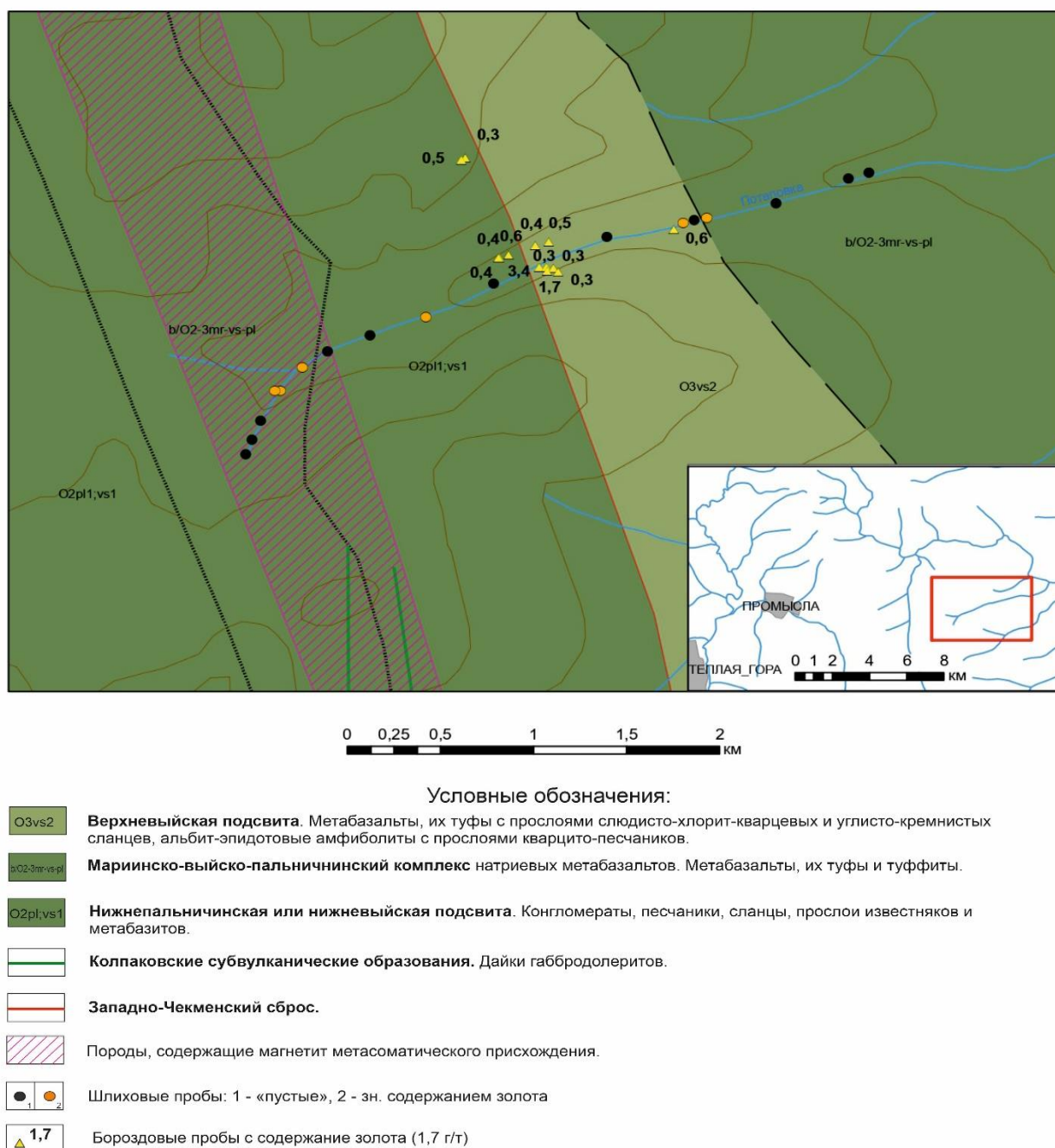


Рис. 2. Золотоносность бассейна руч. Потаповка (геологическая основа – Пунтусова, 2002)

**Тектонические предпосылки.** Определяют благоприятную геологическую позицию рассматриваемого района для формирования золоторудных месторождений и проявлений. Территория находится в зоне сочленения крупных меридиональных структур, которые пересекаются глубинными разломами и надвиговыми структурами (Западно-Чекменский сброс), с которыми обычно связаны зоны повышенной проницаемости рудоносных растворов, трещиноватости, расланцевания, окварцевания, сульфидизации. Более молодые субширотные разломы являются геологическими границами структурных блоков и в сочетании с меридиональными или дизъюнктивными элементами участвуют в поднятии или опускании отдельных участков. Блоковая структура обусловила развитие ореолов рассеяния и развитие россыпей.

*Геоморфологические предпосылки.* Крупными формами рельефа, несомненно оказывающими влияние на аккумуляцию золотоносных рыхлых отложений, являются локальные и региональные эрозионно-структурные депрессии субмеридионального простирания – Вишерско-Висимская депрессия.

Границы заложения эрозионно-структурных депрессий нередко совпадают с тектонически ослабленными зонами разломов и надвигов, благоприятные для проникновения гидротермальных растворов и локализации золотого оруденения. Их следует рассматривать как потенциально перспективные участки развития рудной и россыпной золотоносности [4,10].

Вероятно, уровень эрозионного вреза русла р. Потаповка позволил вскрыть зону Западно-Чекменского сброса с рудоносной толщей. В нижнем течении реки в благоприятных условиях образовалась россыпь. На участках, где эрозионный врез не достиг зоны надвига, предполагается пластовое тело рудоносных золото-содержащих пород.

*Геофизические признаки:*

1. Аномалии вызванной поляризации более 10 – 15% по данным ВЭЗ ВП могут указывать на присутствие золото – сульфидной минерализации или на наличие углистых и углеродсодержащих сланцев распространенных на данной площади. Потаповские проявления золота (Потаповская зона окварцевания) были выделены при поисковых работах [8]. Зона прослежена геофизическими работами по высокому сопротивлению и высокой поляризуемости пород.

2. Положительное, аномальное магнитное поле приурочено к зонам сульфидной минерализации и распространению гематит и магнетитсодержащих минералов. В западной части объекта аномальное магнитное поле связано с породами, содержащими магнетит метасоматического происхождения (рис. 3).

*Геохимические аномалии.* Потаповская зона окварцевания соответствует западной половине одноименной генерализованной аномальной зоны, в пределах которой выделен [8] аномальный участок. Для него характерны слабые комплексные положительные аномалии по меди, цинку, свинцу, реже молибдену, золоту, выделенные в почвах; и группа комплексных аномалий в коренных породах (по данным опробования керна скважин и горных выработок) полиметаллического комплекса элементов (медь, цинк, серебро, свинец). Однако статистическая обработка группы «первичных» аномалий малоперспективны на выявление объектов промышленного масштаба.

В верховьях рек Чекмень, Именнушка, Потаповка расположена прогнозно-геохимическая зона, которая связана с породами, содержащими магнетит метасоматического происхождения. По данным геохимического опробования [5,6,8] донные осадки рек и ручьев содержат до 1 г/т золота, а почвы от 0,03 до 0,3 г/т. Особенностью района работ являются крайне неравномерное распределение золота в коренных породах и низкая (на грани чувствительности анализа) его концентрация в зоне гипергенеза.

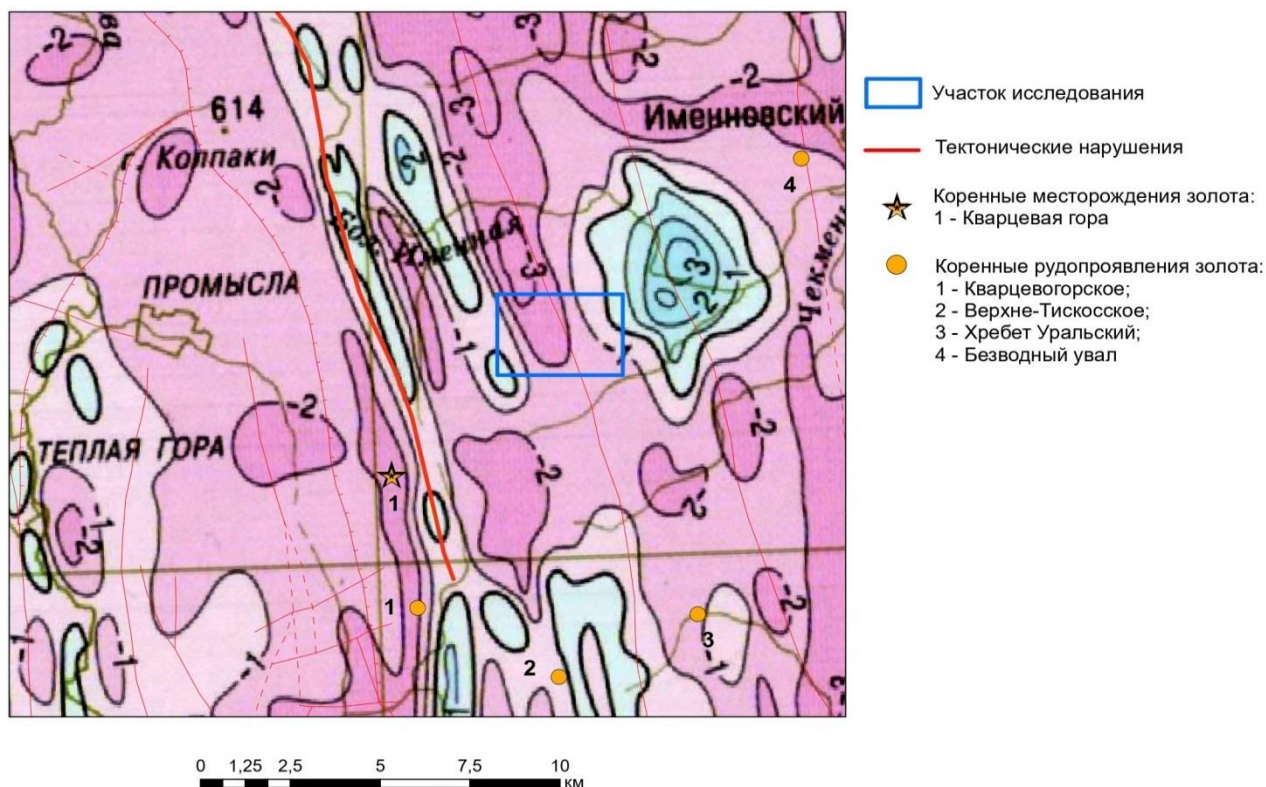


Рис. 3. Расположение участка исследования на карте аномального магнитного поля (ГГК-200, О-40-XVIII)

Отсутствие для известных рудопроявлений Промысловского района корреляционных связей золота с элементами, характерными для эндогенных месторождений дает основание предполагать отсутствие парагенезисов золота с элементами-спутниками в гидротермальном процессе. По-видимому, золото выделялось в отдельную стадию на завершающем этапе гидротермальной деятельности. Отсюда следует, что геохимические аномалии могут служить лишь косвенным признаком рудолокализирующих явлений, которые далеко не всегда связаны с золоторудной минерализацией. Тем не менее, следует обращать внимание на аномальные концентрации таких элементов как мышьяк, висмут, вольфрам, которые встречаются очень редко и пространственно тяготеют к рудопроявлениям золота. Комплекс элементов цинк-свинец-серебро при аномальных их концентрациях свидетельствуют о возможном, золото-полиметаллическом оруденении.

*Минералогические признаки.* Появление в шлихах пирита неизмененных и окисленных форм в зонах размыва метасоматитов; наличие частиц золота в активном слое аллювия являются прямыми поисковыми признаками золотого оруденения и возможного развития россыпей.

*Наличие бурожелезняковых образований.* Как правило, бурые железняки тяготеют к промышленным участкам россыпей и небольшим проявлениям золото-сульфидной формации. Особое внимание следует уделять встречающимся в мелких ложках и водотоках зонам обохривания, а также выходящим на поверхность источникам «ржавой воды», отложениям оксидов железа в ручьях и речках. Все эти признаки могут свидетельствовать о близости рудных тел [11].



В ходе полевых работ в зоне пересечения ручьями Западно-Чекменского сброса были обнаружены обильные выходы коллоидного железа (рис. 4).



Рис. 4. Выходы коллоидного железа (Западно-Чекменский сброс)

### **Опробование**

Наиболее высокие концентрации золота отмечаются в центральной части зоны, где фиксируются его устойчивые содержания в 0,1 г/т, иногда достигающие 0,3-0,7 г/т. По горным выработкам порядок концентраций золота несколько ниже, но в одной бороздовой пробе получено содержание 3,3 г/т [8].

Предполагаемые рудные тела (рис. 5) являются секущими и совпадают с ориентировкой Западно-Чекменского сброса. Рудные тела, судя по документации керн скважин, связаны с зонами высокой трещиноватости пород. Иногда данные трещины вблизи богатых интервалов заполнена нашлапками или мелкозернистыми агрегатами пирита и халькопирита. Также по трещинам и сланцеватости наблюдаются налеты гидроксидов Fe. Иногда встречаются псевдоморфозы лимонита по пириту.

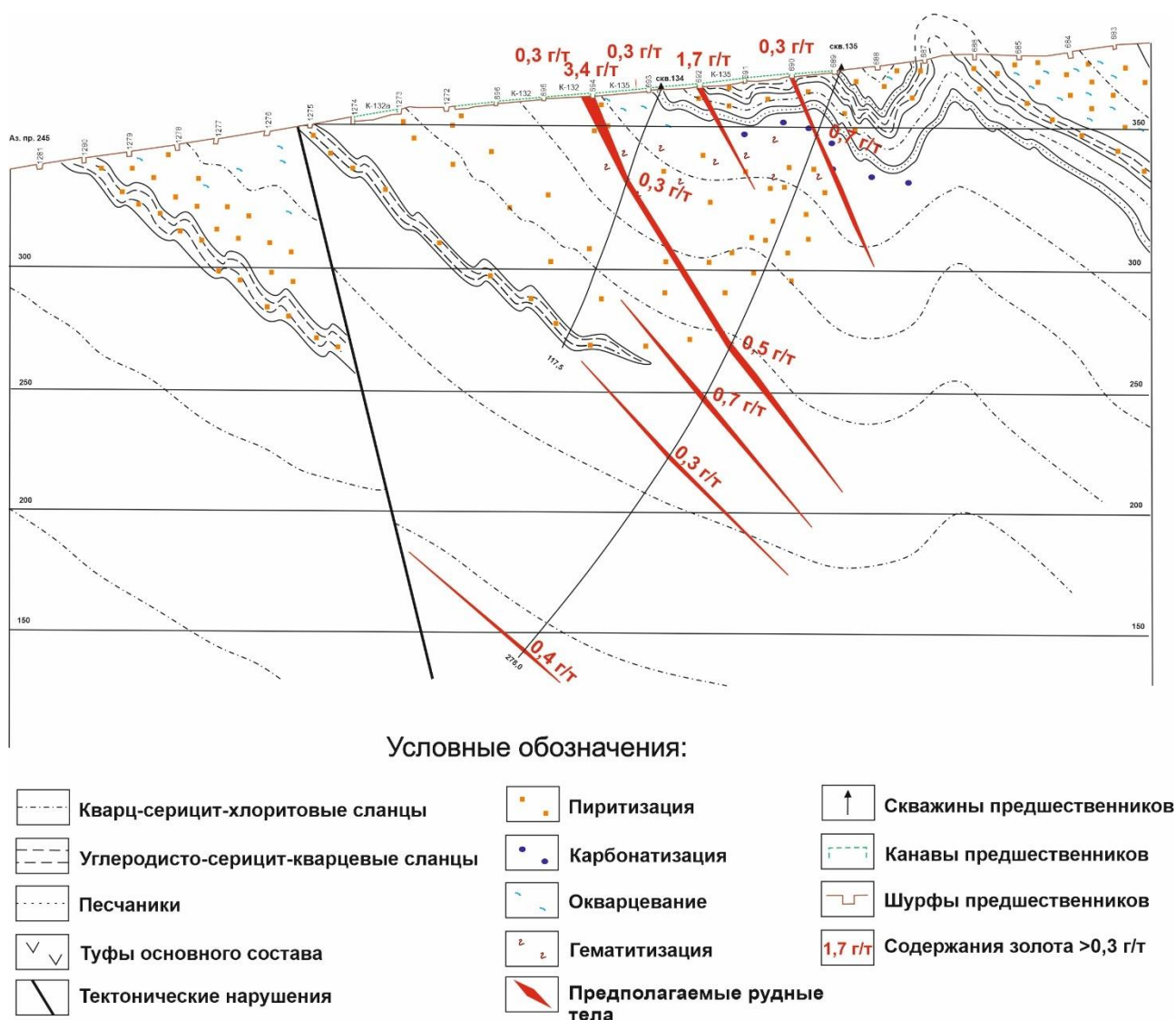


Рис. 5. Схематический геологический разрез с данными опробования [8], Потаповские проявления золота

Шлиховое опробование (рис. 2) активного слоя аллювия демонстрирует, что коренным источником россыпного золота являются Потаповские проявления золота и зона метасоматически измененных пород. Доля тяжелой фракции в шлихах, отобранных из зоны метасоматических пород значительно выше. Тяжелая фракция, в основном, представлена магнетитом, гематитом, пиритом. Золотины руч. Потаповка (рис. 6), как правило, весьма мелкого размера, ярко-желтого цвета, с гладкой блестящей поверхностью, плоские, остроугольные, удлиненные, сросшиеся, некоторые плавучие. Вероятно, золото генетически связано с гидротермально-метасоматическими процессами поступления рудоносных растворов в зоне тектонического нарушения. Кристаллическое строение и морфологические особенности найденных образцов указывают на близость расположения коренного источника золота.

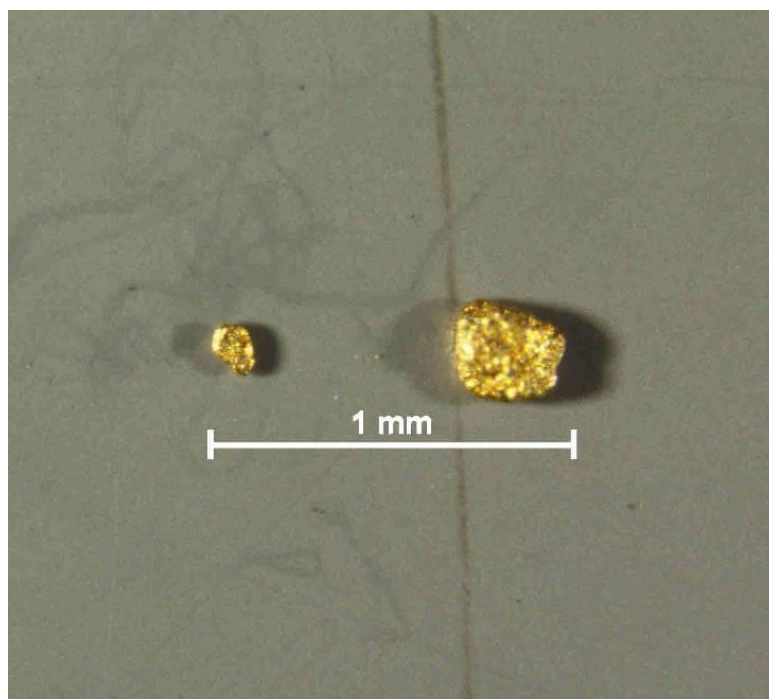


Рис. 6. Золотины руч. Потаповка

## Заключение

Золотое оруденение, связанное с зоной Западно-Чекменского сброса, несмотря на непромышленные содержания металла, является одним из источников золота россыпей восточного склона Среднего Урала – Бол. Именная, Потаповка, Именнушка, Чекмень. По зоне сброса, как ослабленной зоне произошло поддвижение рудоносных растворов с золотом, которое привело к образованию золотоносных пластов. Последующие процессы глубинной и боковой эрозии при образовании Вишерско-Висимской структурно-эрозионной депрессии способствовали разрушению пород в ослабленной зоне и формированию делювиально-склоновых образований. Со временем эрозионный врез русла ручья Потаповка вскрыл золотоносные отложения.

## Библиографический список

1. 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.
2. 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.
3. 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 НижнеТуринского района Свердловской области, проведенных в 1969-1971 гг. Пермь, 1971.
4. 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.
5. Петров Г.А. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1 : 200 000. Изд 2-е. Серия Среднеуральская. Лист О-40-ХVIII (Кушва). Объяснительная записка. – СПб.:Издательство СПб картфабрики ВСЕГЕИ. 2006. 227 с. – <http://vsegei.ru/>

6. *Зильберман А.М., Ведерников Н.Н., Янчик Б.Ф., и др.* Прогнозная карта на россыпное и коренное золото западного склона Среднего и Северного Урала м-ба 1:200000. Пермь, 1969.
7. *Поленов Ю. А., Огородников В. Н., Бабенко В. В.* Березовское месторождение золота – уникальный объект полихронного и полигенного рудообразования. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2015. 150 с.
8. *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 1973-1978гг. Пермь, 1978.
9. *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.
10. *Наумов В.А., Силаев В.И., Чайковский И.И., Мальцева М.В., Хазов А.Ф., Филиппов В.Н.* Золотоносная россыпь на реке Большой Шалдинке на среднем Урале. Монография. Пермский ун-т, Пермь, 2005. 92 с.
11. *Голдырев В.Н. и др.* Минералы-индикаторы золотоносности россыпей в бассейне р. Берелех (Магаданская область) // Известия УГГУ. 2021. Вып. 3 (63). С. 54 44–52. DOI 10.21440/2307-2091-2021-3-44-52.
12. *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.



# ГЕОЛОГИЯ НЕФТИ И ГАЗА

**Г.Б. Болотов**

ПГНИУ, grigorijbolotov@yandex.ru

## ИНСТИТУЦИОНАЛЬНАЯ ЭВОЛЮЦИЯ МИРОВОГО НЕФТЯНОГО РЫНКА

Анализируется институциональная, обусловленная доминирующими типами рыночных структур, позициями крупнейших игроков, видами и методами ценообразования эволюция мирового нефтяного рынка. Материал будет использован при чтении курса «Топливо-энергетический маркетинг» студентам ПГНИУ.

**Ключевые слова:** мировой нефтяной рынок, монополия, олигополия, совершенная конкуренция на нефтяном рынке.

**G.B. Bolotov**

Perm State University, grigorijbolotov@yandex.ru

## INSTITUTIONAL EVOLUTION OF THE GLOBAL OIL MARKET

The article analyzes the institutional evolution of the world oil market, caused by the dominant types of market structures, the positions of the largest players, types and methods of pricing. The material is planned to use when reading the course "Fuel and energy marketing" to students of Perm State University.

**Keywords:** world oil market, monopoly, oligopoly, perfect competition in the oil market.

При анализе истории формирования мирового нефтяного рынка необходимо учитывать два основных критерия: 1) институциональный, связанный с доминирующими на рынке типами рыночных структур (монополия, олигополия, совершенная конкуренция), позициями крупнейших игроков рынка, видами и методами ценообразования и 2) энергетический, зависящий от роли нефти в мировой экономике и энергетике, а также наличия товаров-заменителей [1].

В статье рассматривается институциональная эволюция мирового нефтяного рынка.

Нефть применялась человечеством с глубокой древности для бытовых, промышленных и военных целей, но до середины 19 века в ограниченных объемах. В второй половине XIX века, с возникновением технологий переработки нефти в керосин, его промышленного использования, а затем использования и других фракций, добыча, переработка и транспортировка нефти начинают оказывать определенное влияние на экономику мира. Начинается стихийное формирование локальных нефтяных рынков в условиях свободной конкуренции. Этот процесс продолжался в течение 20–40 лет.

В 1870 г. Джон Рокфеллер создал публичную нефтяную компанию «Standart Oil Со», положившую начало нефтяной индустрии США. «Стандарт Ойл» активно развивалась, поглощая прежде всего, перерабатывающие предприятия. К 1880 г. она перерабатывала 95% нефти, добываемой в США. Добывающие компании также поглощались Стандартом Ойл, но в меньших объемах, т.к. они не мешали монополизации сферы переработки, транспортировки и контролю над нефтяным рынком.

В 1882 году Рокфеллер организовал «Standard Oil Trust» – группу из 40 корпораций (трест) нефтяной индустрии США, что дало ему возможность контролировать практически всю нефтяную промышленность страны. Мировой нефтяной рынок в конце XIX – начале XX вв. только начал формироваться. Основным экспортером являлись США. *Поэтому первый период формирования мирового нефтяного рынка можно считать монополией «Стандарт Ойл» Рокфеллера.*

Начиная с середины 1870-х гг. суды Пенсильвании и других штатов были завалены исками нефтепромышленников против «Стандарт Ойл», зачастую применявшую «не стандартные» (в том числе и криминальные методы конкурентной борьбы). В ноябре 1906 года в федеральном окружном суде Сент-Луиса началось рассмотрение иска администрации Т. Рузвельта против "Стандарт Ойл". В соответствии с антитрестовским законом Шермана 1890 года компанию обвинили в заговоре с целью ограничения свободы торговли. В 1909 году федеральный суд вынес решение в пользу правительства и предписал распустить "Стандарт ойл", что и было сделано через два года.

В 1911 г. «Standard Oil» разделилась на несколько самостоятельных фирм. Самой крупной из них была бывшая холдинговая компания «Standard Oil of New Jersey». Впоследствии она была преобразована в «Еххон». Следующая по величине – «Standard Oil of New York», позднее трансформировалась в «Mobil». Были созданы также компании, положившие начало другим будущим международным корпорациям: «Standard Oil (California)», впоследствии «Chevron», «Standard Oil of Ohio», которая вначале называлась Sohio, а затем стала американским отделением British Petroleum [2] и ряду менее известных компаний.

К середине XX века в большинстве промышленно развитых стран были созданы крупные компании по добыче и переработке нефти. Но большую часть мирового рынка нефти контролировали семь корпораций, за которыми закрепилось название «семь сестер» (рис. 1): 1. BP (British Petroleum) – страна базирования Великобритания; 2. Еххон – США; 3. Chevron – США; 4. Shell (Royal Dutch Shell) – Нидерланды; 5. Техасо – США, позднее вошла в Chevron; 6. Gulf Oil – США; 7. Mobil – США.

Неформальная кооперация семи сестер началась в 1920-х гг. В 1928 г. «Royal Dutch Shell», «Англо-персидская нефтяная компания» (в будущем BP) и «Standard Oil of New Jersey» (впоследствии Еххон) заключили соглашение, предусматривающее сокращение добычи нефти в соответствии с тенденциями спроса на неё и сохранения существующей пропорции между добывающими компаниями. Уже к 1932 году в этот неформальный картель вошли все семь компаний.

Более полстолетия (с 1910-х гг. и примерно до середины 1960-х гг.) картель сохранял контроль над мировым рынком нефти. Считается, что корпорации контролировали в отдельные годы до 80% мировых продаж нефти. Таким образом, этот этап можно назвать *эпохой олигополии картеля «семь сестер»*.



Рис. 1. «Семь сестер»

Такое состояние нефтяного рынка не устраивало активно развивающиеся нефтедобывающие страны, и в 1960 г. в Багдаде была создана ОПЕК – организация стран-экспортеров нефти (ОПЕК – «Organization of Petroleum Exporting Countries»). Целью создания организации явилось стремление новых независимых государств получить контроль над своими ресурсами с учётом национальных интересов.

*Миссия ОПЕК* заключается в координации и унификации нефтяной политики стран-членов и обеспечении стабилизации нефтяных рынков в целях обеспечения эффективных, экономичных и регулярных поставок нефти потребителям, стабильного дохода производителей и справедливой отдачи от капитала для тех, кто инвестирует в нефтяную промышленность [3]. Основным инструментом влияния ОПЕК на рынок являются квоты на добычу нефти для каждой из стран-участниц.

По своему потенциалу ОПЕК оказалась намного перспективнее конкурирующей группировки – «семи сестер». Несмотря на активное противодействие со стороны США и транснациональных нефтяных корпораций, уже к концу 1960-х гг. контроль над нефтяным рынком в основном перешел к ОПЕК. В период с 1971 по 1980 г. влияние ОПЕК на цену нефти было максимальным. Стремительный рост цен обуславливался, в первую очередь, политическими и историческими причинами: сокращением предложения вследствие Йом-Кипурской войны (Йом-Кипур («День искупления», «Судный день» в иудаизме), нефтяными эмбарго ОПЕК, Иранской революцией, вторжением Ирака в Иран и другими событиями. В это время цены превышали 100 долл. / барр. Эпоха олигополии «семи сестер» сменилась *эпохой олигополии ОПЕК*.

В 1980-х гг. контроль ОПЕК над нефтяным рынком стал ослабевать. В частности, уже с начала 1981 г. цены на нефть начали снижаться и до середины 2000-

х гг. в основном не превышали 40 долл. / барр. Это связано с рядом причин институционального характера:

- проблемы внутри ОПЕК;
- появление новых сильных игроков на нефтяном рынке;
- фьючерсная торговля нефтью (с 1986г.);
- причинами не институционального характера (глобальные изменения мирового энергетического рынка).

*Проблем внутри ОПЕК* много. Основная заключается в том, что организация объединяет страны, уровень развития, политическое устройство и интересы которых очень различны. Многие страны организации периодически участвуют в войнах. Не редки революции, перевороты. Для всех тринадцати стран, входящих сегодня в ОПЕК, характерен высокий уровень зависимости экономики от экспорта нефти, даже для ОАЭ и Саудовской Аравии, не говоря уже об африканских странах. Таким образом, для ряда стран, входящих в ОПЕК, периодически характерно несоблюдение выделенных им квот. ОПЕК не всегда удается эффективно справиться с этим. Это осложняет принятие решений, необходимых для стабилизации нефтяного рынка.

*Новые сильные игроки на мировом нефтяном рынке.* До 1955 г. только США добывали нефть в объемах, хоть как-то сопоставимых с добычей в странах ОПЕК. Но потребление нефти США более чем вдвое превышало добычу.

До 1930-х гг. в СССР эксплуатировались в основном месторождения Азербайджана (рис. 2) и даже с началом эксплуатации месторождений Волго-Уральской нефтегазоносной провинции (с 1929 г.) и до начала 1960-х гг. большая часть ресурсов использовалась внутри страны.

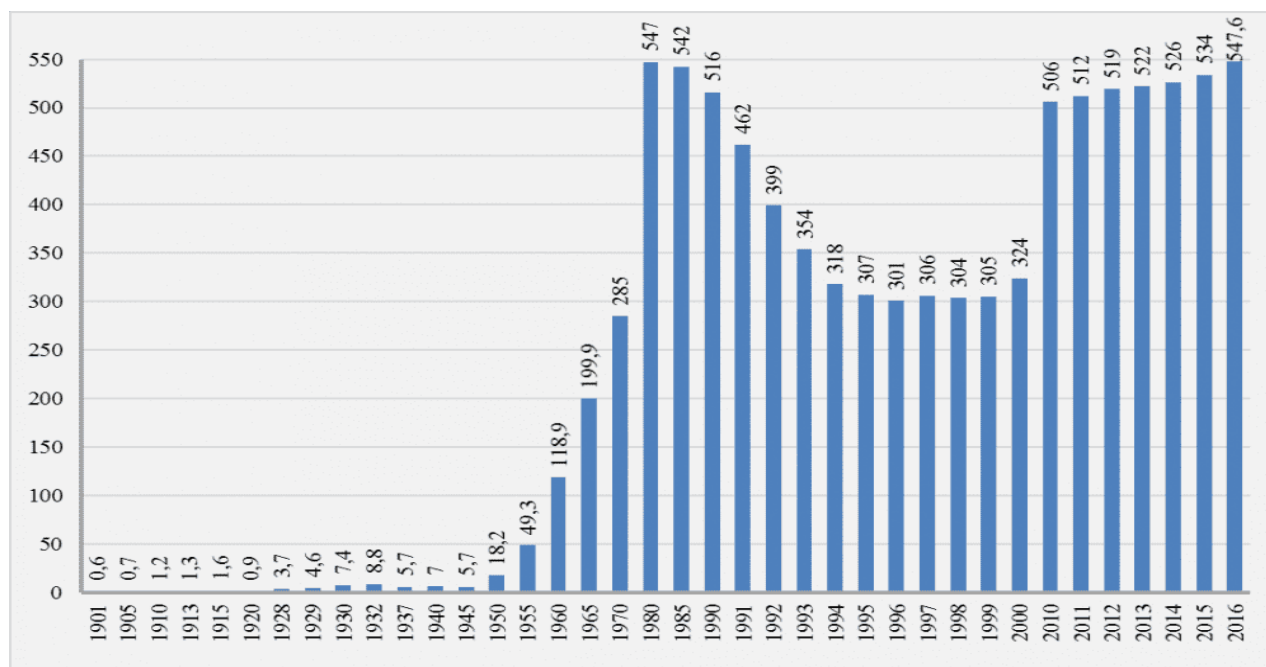


Рис. 2. График добычи нефти в СССР и России, в млн. т.

Только с открытием и началом освоения крупнейшей (в настоящее время второй в мире по запасам углеводородов) Западно-Сибирской нефтегазоносной про-

винции, топливно-энергетический баланс СССР стал положительным и появилась возможность выхода на внешний рынок. В 1973 г. СССР успешно воспользовался сложившейся на рынке ситуацией (мировой нефтяной кризис 1973–74 гг.) и уже к 1985 г. СССР обогнал по добыче нефти США. Нефтяной баланс СССР (превышение добычи над внутренним потреблением) был существенно положительным. Так, в 1985 г. по данным ВР [4] СССР добыл 543,2 млн т нефти при потреблении 274,4 млн т (чуть более 50%). В России на пике нефтедобычи (2018, 2019 гг.) эта пропорция не сильно изменилась. В 2018г. Россия экспортировала 275,9 млн. т нефти (48,9% от добычи). В том числе 171,8 млн. т (62,3%) – в Европу. 92,6 млн. т (33,6%) – в Азиатско-Тихоокеанский регион [5].

В 1990-ые гг. экспансия преемника СССР – России на мировой нефтяной рынок существенно сократилась, но уже к 2000 г. Россия прочно заняла место в тройке крупнейших нефтедобывающих стран мира (рис. 3).

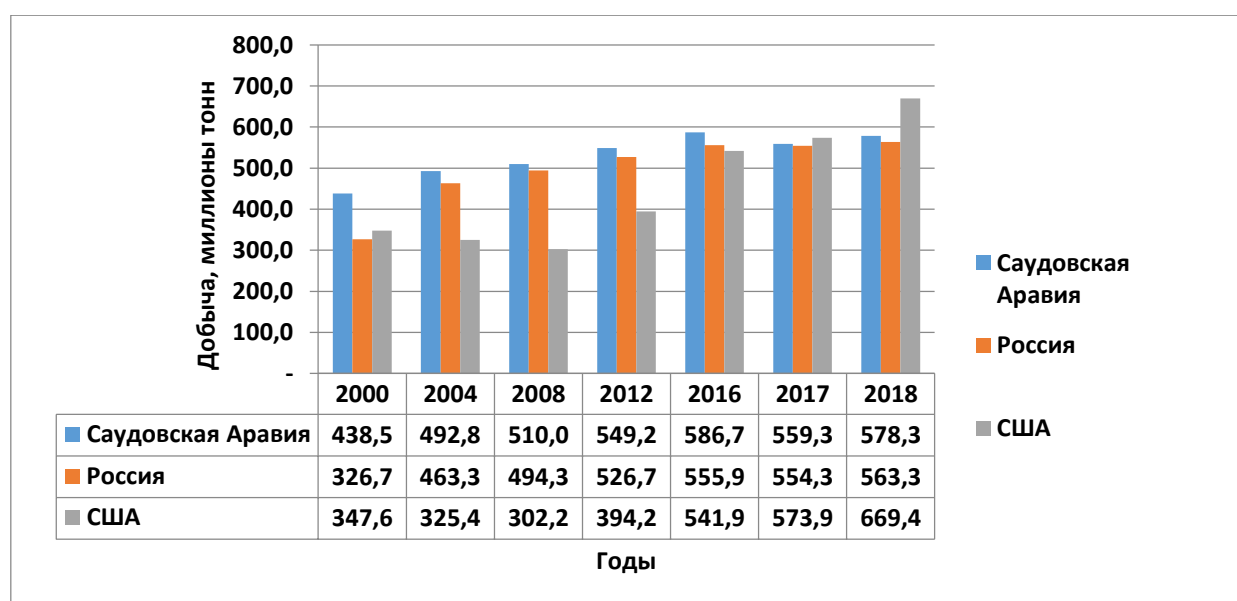


Рис. 3. Страны-лидеры по добыче нефти по данным ВР [4]

К концу XX в. существенно выросла добыча у четырех ведущих продуцентов нефти помимо ОПЕК (рис. 4). Нефтяной баланс Канады положительный, Китая – отрицательный. Доля Канады в мировом экспорте нефти в ближайшее время существенно вырастет в связи с освоениями месторождений в так называемых «канадских нефтяных песках». Потенциал Канады – огромен. По доказанным запасам на конец 2019 г. страна находилась на третьем месте в мире – 27,3 млрд т или 9,8% от мировых запасов (рис. 5).

Существенно выросли также объемы добычи нефти в Норвегии, Казахстане и, особенно, в Мексике и Бразилии (рис. 6). Нефтяной баланс всех стран положительный.

Суммарные объемы добычи восьми вышеперечисленных стран к концу XX в. догнали, а в XXI в. стали уверенно превышать объемы добычи стран, входящих в ОПЕК (рис. 7).

Объемы добычи нефти транснациональными нефтяными корпорациями также продолжают оставаться высокими (сопоставимыми с объемами добычи крупнейших национальных нефтяных компаний Китая, Бразилии и Мексики).

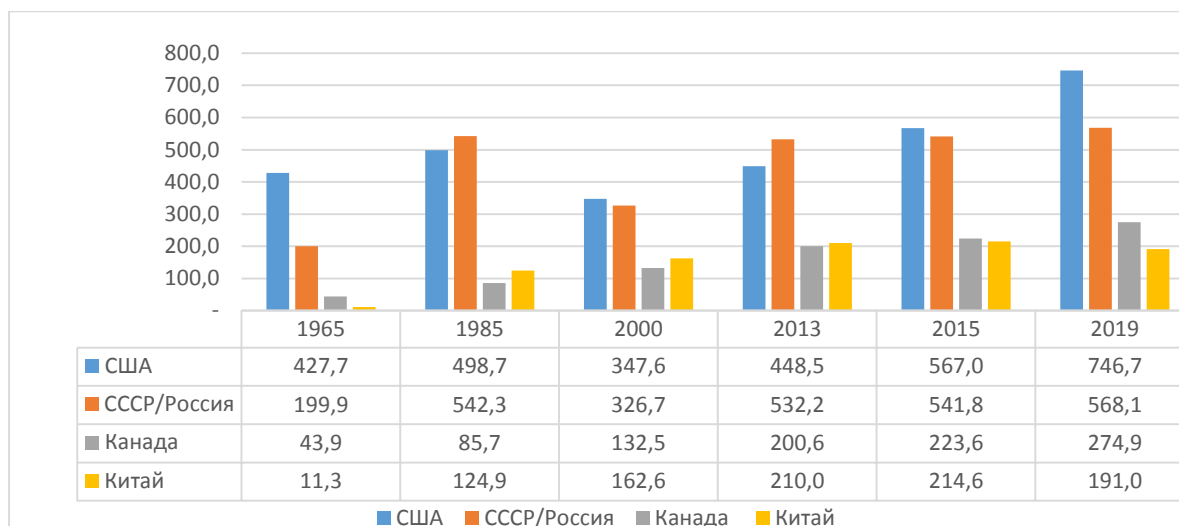


Рис. 4. Рост добычи нефти четырех ведущих нефтедобывающих стран (помимо ОПЕК) («первая четверка») с 1965 г. по 2019 г. в млн т по данным ВР [4] и отечественным источникам для СССР за 1965 г.

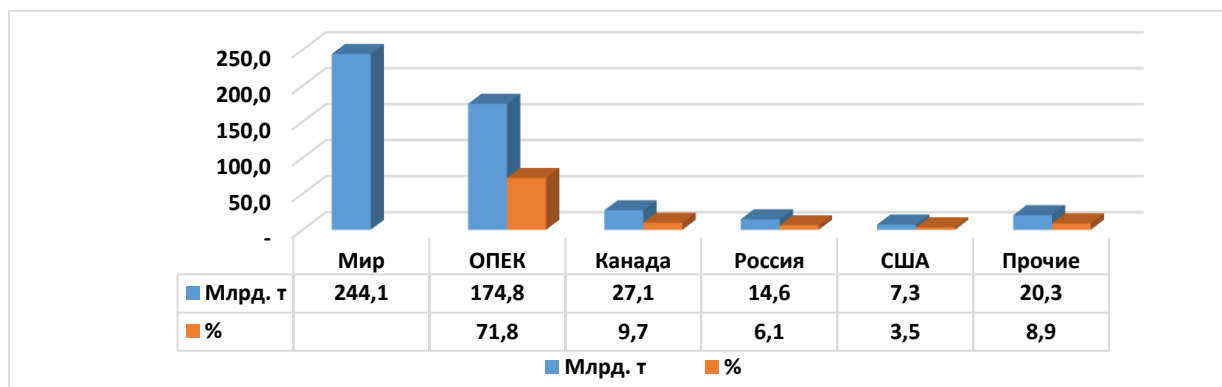


Рис. 5. Доказанные запасы нефти на конец 2018 г. по данным ВР [4]

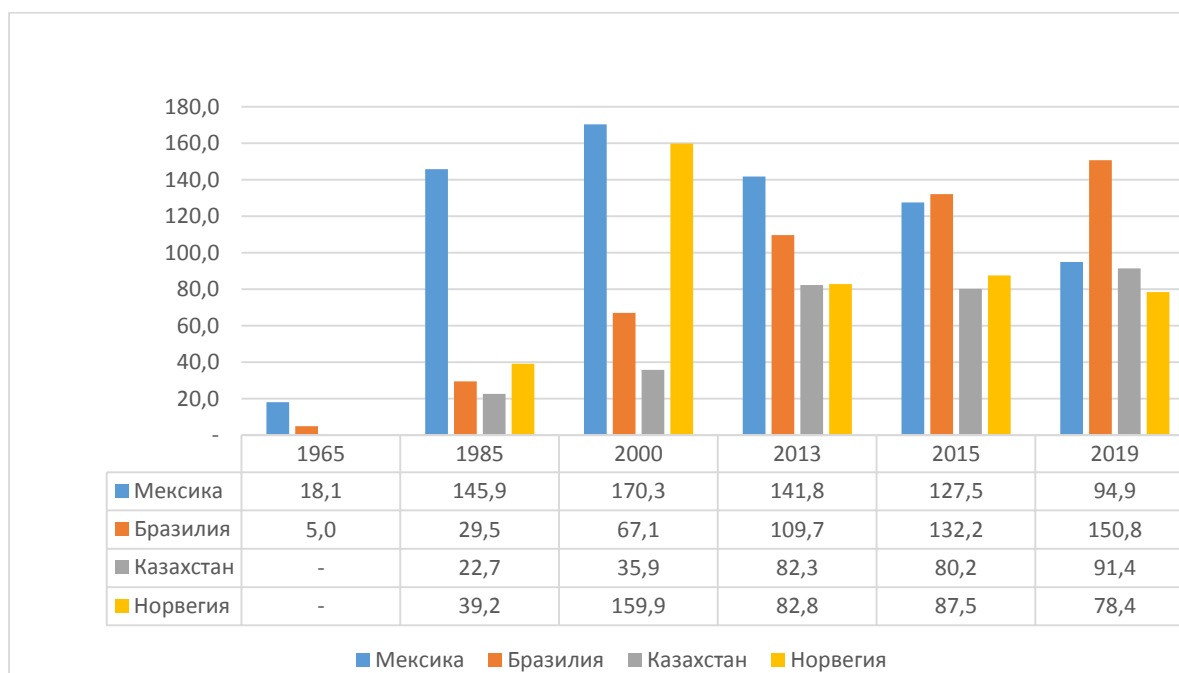


Рис. 6. Рост добычи нефти четырех ведущих нефтедобывающих стран (помимо ОПЕК) («вторая четверка») с 1965 г. по 2019 г., млн т по данным ВР [4]

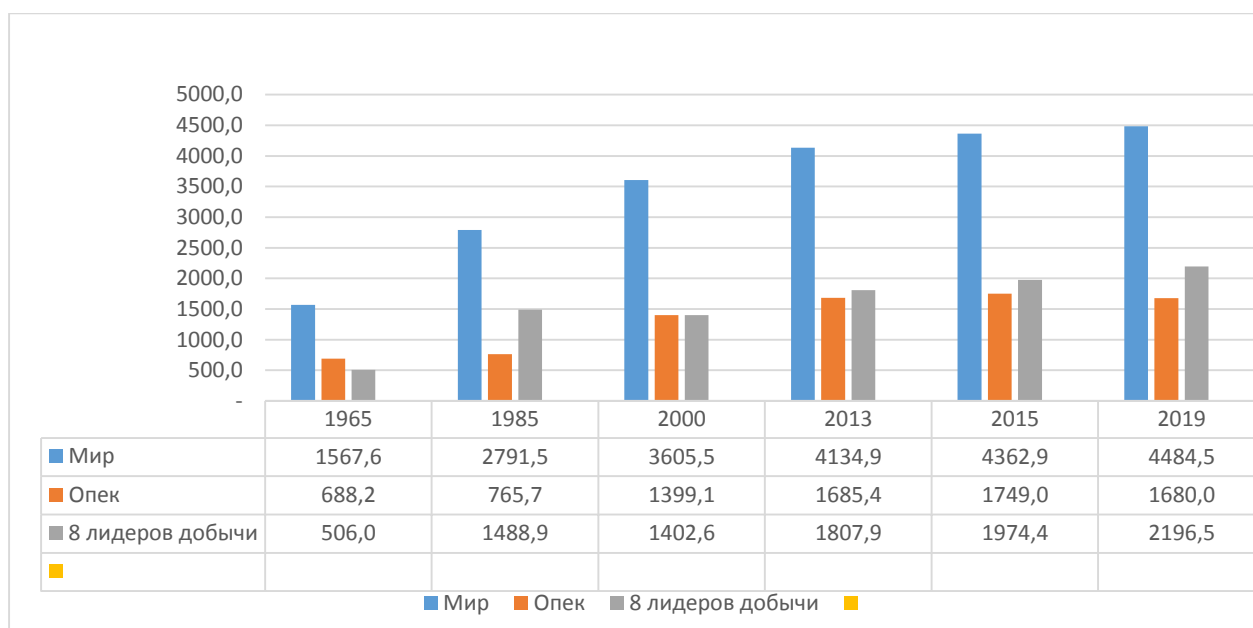


Рис. 7. Соотношение объемов добычи нефти странами ОПЕК и восемью ведущими нефтедобывающими странами мира

В 2016 году на волне недовольства некоторых крупных экспортеров нефти действиями ОПЕК появилось сообщество ОПЕК+. В его состав входят 10 государств. Действительно крупных нефтепроизводителей в ОПЕК + три. Из «первой четверки» – Россия, из «второй» – Казахстан и Мексика. Это сообщество гораздо менее организовано, чем ОПЕК, но также пытается влиять на мировой рынок нефти, особенно на экспортные цены. Неформальным лидером этого сообщества считают Россию. ОПЕК и ОПЕК+ сотрудничают по многим вопросам добычи и экспорта нефти.

В 2020 г. ОПЕК отметила свое 60-летие. Организация по-прежнему играет главную роль на мировом нефтяном рынке. С институциональной точки зрения олигополия ОПЕК хотя и существенно ослабла, но, по мнению автора, не трансформировалась в совершенную конкуренцию.

### Библиографический список

1. Эволюция мировых энергетических рынков и ее последствия для России / под ред. А.А.Макарова, Л.М.Григорьева, Т.А.Митровой. М. ИНЭИ РАН-АЦ при Правительстве РФ, 2015. 400 с. ISBN 978-5-91438-019-6.
2. Standart Oil – Википедия [ru.wikipedia.org](https://ru.wikipedia.org/wiki/Standart_Oil)> Standart Oil
3. OPEC Statute/ Website: [www.opec.org](http://www.opec.org)
4. BP Statistical Review of World Energy 2021. [bp.com](https://www.bp.com).
5. Болотов Г.Б. Топливо-энергетический маркетинг [Электронный ресурс]: учеб.-метод. пособие / Г. Б. Болотов ; Перм гос. нац. исслед. ун. – Электрон. данные. – Пермь, 2021. – Ч. 1.



**А.С. Капитанова, Г.Л. Беляева**

Филиал ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг», «ПермНИПИнефть», kapitan19.95@mail.ru

ПГНИУ, belka61@inbox.ru

## **РЕКОНСТРУКЦИИ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ЗОНЫ СОЧЛЕНЕНИЯ ВЕРХНЕПЕЧОРСКОЙ ВПАДИНЫ И ЗАПАДНО-УРАЛЬСКОЙ СКЛАДЧАТОЙ ОБЛАСТИ**

В статье представлены реконструкции особенностей формирования осадочного чехла, геотемпературной истории развития бассейна, погружения отложений и изменения их пористости, динамики созревания ОВ, изменения пластового давления в ходе геологической истории, созданы модели эволюционно-катагенетической зональности и проявления процессов нефтегазообразования в зоне сочленения Верхнепечорской впадины и Западно-Уральской складчатой области. Исследования выполнены в программе «PetroMod» методом 1D бассейнового моделирования на основании результатов бурения параметрической скважины Гудырвож-1.

**Ключевые слова:** моделирование, аллохтон, автохтон, осадочный бассейн, структура, скважина, эволюция.

**A.S. Kapitanova, G.L. Belyaeva**

Branch of ООО LUKOIL-Engineering, PermNIPIneft, kapitan19.95@mail.ru

PSNIU, belka61@inbox.ru

## **RECONSTRUCTION OF THE GEOLOGICAL PROCESSES OF THE JOINT ZONE OF THE UPPER PECHORA DEEP AND THE WESTERN URAL FOLDED AREA**

The article presents reconstructions of the features of the formation of the sedimentary cover, the geothermal history of the development of the basin, the subsidence of sediments and changes in their porosity, the dynamics of maturation of OM, changes in reservoir pressure in the course of geological history, models of evolutionary catagenetic zoning and manifestations of oil and gas formation processes in the junction zone of the Upper Pechora Depression and Zapadno – Ural folded region. The studies were carried out in the program "PetroMod" by the method of 1D basin modeling based on the results of drilling of the parametric well Gudyrvozh-1.

**Keywords:** modeling, allochthon, autochthon, sedimentary basin, structure, borehole, evolution.

Реконструкции формирования осадочного разреза зоны сочленения Верхнепечорской впадины и Западно-Уральской складчатой области выполнены по результатам бурения параметрической скважины Гудырвож-1. Скважина пробурена на юге Вуктыльского нефтегазоносного района, в Сарьюдинской зоне поднятий – территории с очень сложным тектоническим строением, где выявлены два основных тектонических блока. Верхний – аллохтон, вскрыт в интервале 0-

4470 м и, по данным сейсморазведки, надвинут с запада на Гудырвожскую структуру. Нижний блок – автохтон – начинается с глубины 4470 м. На забое (5520 м) скважиной вскрыты отложения тульского горизонта нижнего карбона [1]. Стратиграфические границы ниже забоя скважины приняты условно по данным прилегающих территорий.

Следует отметить, что сложное чешуйчато-надвиговое строение осадочного чехла Гудырвожской структуры обусловлено действием двух встречных надвигов со стороны Урала и Верхнепечорской впадины, из которых в разрезе исследуемой скважины наиболее проявился западный. На основании калибровки моделей, проведенной по данным фактических измерений отражательной способности витринита и по прогнозным значениям современных температур [2,3] построена модель полного современного разреза скважины (рис. 1).

Моделирование проводилось поэтапно: сначала восстанавливались геологические процессы, проходившие в автохтонной части структуры до начала надвигообразования, затем – в аллохтоне, также до развития складчато-надвиговых дислокаций. На последнем этапе моделирования разрабатывались комплексные модели, построенные путем добавления аллохтонного блока, вскрытого скважиной, к автохтону.

В процессе моделирования эволюции геотемпературного режима осадочного бассейна автохтонной части разреза до развития складчато-надвиговых дислокаций отмечено, что наиболее интенсивное увеличение пластовых температур наблюдалось в среднедевонско-турнейское время. Максимального прогрева доманиковая свита автохтона испытала в ранней перми, температура в кровле в это время составляла около 95 °С. В предполагаемых нефтематеринских горизонтах эйфельского и живетского ярусов температура в ранней перми уже составляла более 110°С.

Из построенной модели уплотнения поднадвиговых отложений следует, что пористость разреза в разные эпохи геологического времени была весьма высокой до глубины около 1500 м. Резкое снижение ёмкостных свойств характерно для средне-верхнеордовикских толщ, далее, начиная с раннедевонского времени и к окончанию ранней перми пористость в автохтоне составляла 8-9%. К этому времени в девонском терригенном комплексе высокие ёмкостные свойства сохранялись в песчано-алевритовых толщах эйфельского яруса и в живетском ярусе (15-17%). После формирования карбонатов нижней перми значительному уплотнению подверглись джьерско-верхнефранские отложения. Пористость вышележащих верхнефаменских, турнейских, визейских и серпуховских толщ оставалась высокой (более 18%) вплоть до начала средней перми.

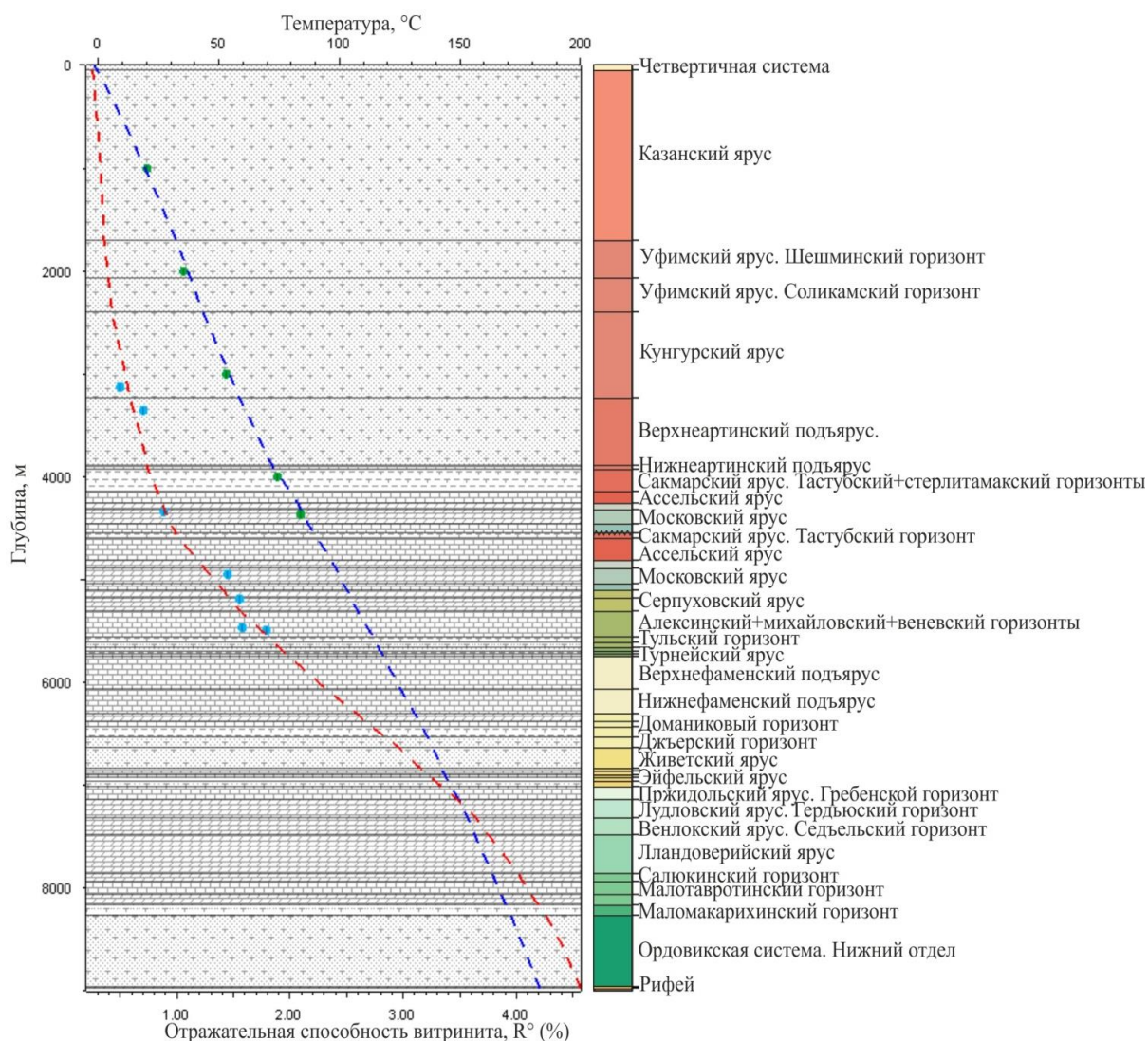


Рис. 1. Модель изменения  $R^\circ$  и современных температур разреза скважины Гудырвож-1

Модель нефтегазообразования автохтонной части разреза позволяет оценить зрелость рассеянного органического вещества (РОВ) нефтематеринских толщ до периода надвиговых дислокаций. Установлено, что подошва доманиковых отложений автохтона впервые вступила в главную фазу нефтеобразования ( $R^\circ=0,5-0,8\%$ ) в башкирское время. РОВ подошвы терригенного девона (эйфельский ярус) к этому времени достигло градации катагенеза МК<sub>2</sub>. Реконструкция вертикальной катагенетической зональности разреза показала, что реликтовое «нефтяное окно» в автохтоне соответствовало интервалу 1660-3650 м.

Коэффициент трансформации керогена в среднепермское время в доманиковых отложениях и терригенном девоне составлял менее 10%, в венлокско-лландоверийских отложениях силура 10-25%, нижний ордовик реализовал свой генерационный потенциал к этому времени уже на 72 %. к этому времени.

Нефтегазоматеринские породы (НГМП) пермского возраста в Верхнепечорской впадине выделены в кунгурском и артинском ярусах [4], но эти отложения вскрыты только над надвигом. Восстановление их температурного режима, эволюционно-катагенетической зональности и др. началось с последующего этапа моделирования – реконструкции геологической истории аллохтонной части разреза Гудырвожской структуры.

Из ранее проведенных исследований известно, что средняя часть кунгурского яруса и терригенные отложения верхнеартинского подъяруса скважины Гудырвож-1 по результатам оценки генерационного потенциала отнесены к средне-продуктивным, в интервале 3540-3720 м среднее содержание Сорг составляет 0,8-1,4% с ОВ преимущественно гумусового типа [1].

Температура прогрева аллохтонной части разреза до развития складчато-надвиговых дислокаций на начало ранней перми в кровле живетского яруса составляла около 102 °С, в кровле доманиковой свиты около 91 °С. После формирования среднепермских отложений (современная мощность 2298 м), которые в автохтоне отсутствуют, температура кровли живетского яруса повысилась до 194 °С, кровли доманиковой свиты – до 183 °С.

Отличительной особенностью изменения пористости в разрезе аллохтонной части (до проявления надвигов) является, начиная с башкирского времени, интенсивное уплотнение пород. К завершению осадконакопления в каменноугольное время пористость средне-верхнеордовикских толщ составляла не более 8%, силурийских отложений – 10-13%. Наиболее высокими ёмкостными свойствами после уплотнения всего разреза обладали койвенские (14,3%) и кедровско-омринские (18%) образования эйфеля, живетские (18,8%) и верхнефаменские (23,3%) отложения. Следующий этап значительного уплотнения нижней части разреза наступил после накопления алевролитов, аргиллитов, глин и песчаников верхнеартинского подъяруса. К этому времени повышенная пористость сохранилась в кедровском горизонте и живетском ярусе среднего девона (10-13%), в нижнетурнейском подъярусе (около 15 %) и серпуховском ярусе нижнего карбона (16-17%), в вышележащих отложениях она составила более 20 %.

При моделировании катагенетической зональности РОВ аллохтонной части разреза скважины до надвиговой активности подошва эйфельских отложений среднего девона (койвенский горизонт) впервые вступила в главную зону нефтеобразования (ГЗН) на глубине 1830 м в визейское время, в главную зону газообразования (ГЗГ) – на отметке 4240 м в начале казанского века. Подошва живетского яруса впервые вошла в ГЗН на глубине 1890 м в визейское время, отложения кровли живетского яруса достигли степени катагенеза МК<sub>4</sub> также в начале казанского века. Таким образом, терригенный девон аллохтона, в котором предполагается развитие НГМП в визейско-казанское время находился в главной зоне нефтеобразования.

Кровля доманиковой свиты соответствовала степени катагенеза МК<sub>1</sub> в башкирское время, глубина залегания кровли реликтовой ГЗН в это время составляла 1825 м. Значительные катагенетические преобразования РОВ разреза аллохтонной части (до надвиговых дислокаций) в ранней-средней перми спровоцированы накоплением мощной толщи верхнеартинско-казанских отложений и резким возрастанием палеотемператур. К окончанию казанского времени подошва доманиковой свиты на глубине 6055 м достигла катагенеза МК<sub>4</sub> ( $R^0 = 1,49 \%$ ).

Подошва верхнеартинского подъяруса в казанское время вошла в ГЗН на глубине 3060 м. Кунгурские отложения, в которых также установлено развитие пород с нефтематеринскими свойствами [4], в донадвиговое время располагались в зоне протокатагенеза.

Коэффициент трансформации органического вещества аллохтона к этому времени составлял менее 5% в артинско-кунгурских отложениях, 73-74% в доманиковой свите, 71-81% в терригенном девоне и до 95% в подошве осадочного чехла.

При добавлении аллохтонного блока к автохтону построена комплексная модель реконструкции истории погружения и геотермических условий, которая показала скачкообразное увеличение температур в поздней перми-триасе, когда проявился процесс надвигообразования (Рис. 2). Максимальная температура подошвенной части осадочного чехла в это время составляла 298 °С, подошвы эйфельского яруса среднего девона – 239 °С, подошвы доманиковой свиты – 216 °С. Время надвигообразования характеризуется резким погружением эпейрогенических кривых аллохтона в конце средней перми, при этом значительного повышения температур в нижней части разреза (O<sub>1</sub>-D<sub>3</sub>fm) не происходило. Существенное температурное воздействие испытали отложения только до глубины около 2000 м.

По результатам моделирования средний геотермический градиент в разрезе скважины Гудырвож-1 составил 3°С/100 м.

При построении модели изменения пористости прослеживалось интенсивное возрастание степени уплотнения отложений автохтона после проявления надвиговых дислокаций. По результатам лабораторных исследования керна пористость в верхнесерпуховском подъярусе изменяется от 0,27 до 14,71%, средняя пористость по результатам моделирования на современный период в этих отложениях составила 9,74%. В московском ярусе средняя пористость составила 4,62%, что не противоречит лабораторным данным (0,73-6,06%). В верхнекаменноугольных отложениях средняя пористость по моделированию составила 6,37%, максимальное значение, полученное по лабораторным данным исследования керна верхней части верхнего карбона – 7,96% [5].

Изменение литостатического давления в процессе геологического развития по результатам моделирования характеризуется тремя этапами: ордовикско-раннепермским, когда  $P_{лит}$  в подошве нижнего ордовика (при палеоглубине около 5000 м) достигло отметки 119 мПа; ранне-позднепермским с максимально высокими отметками литостатического давления – до 230 мПа в подошве нижнего ордовика (палеоглубина около 9800 м), в подошве нижней перми автохтонного блока – 104 мПа. В третий этап – мезозой-четвертичное время – резких изменений в литостатическом давлении не происходило, в современном разрезе  $P_{лит}$  в подошве осадочного чехла составляет 215 мПа, в подошве нижней перми (автохтон, 4730 м) – 99 мПа (Рис. 3).



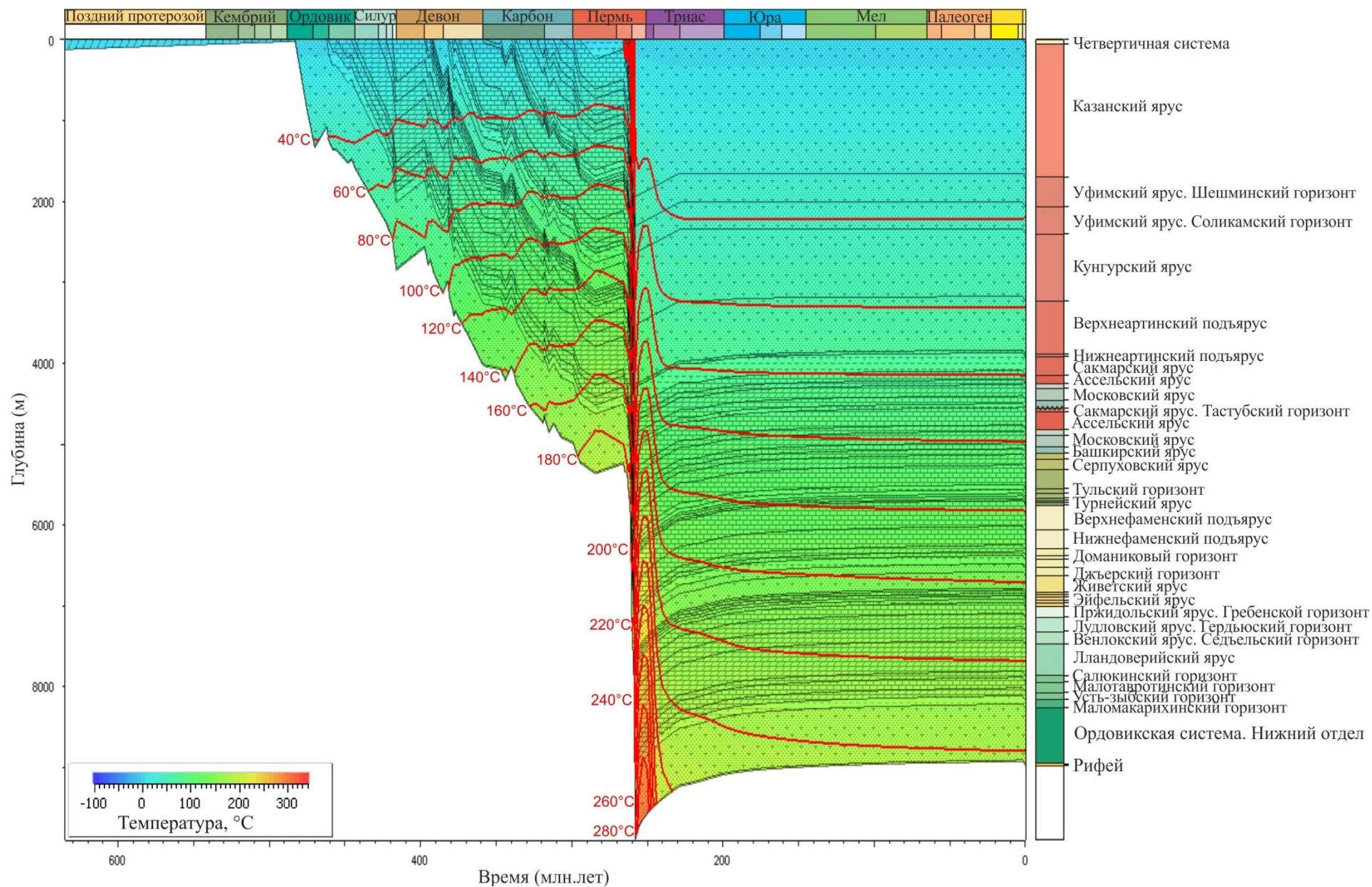


Рис. 2. Модель погружения и прогрева отложений Гудырвожской структуры



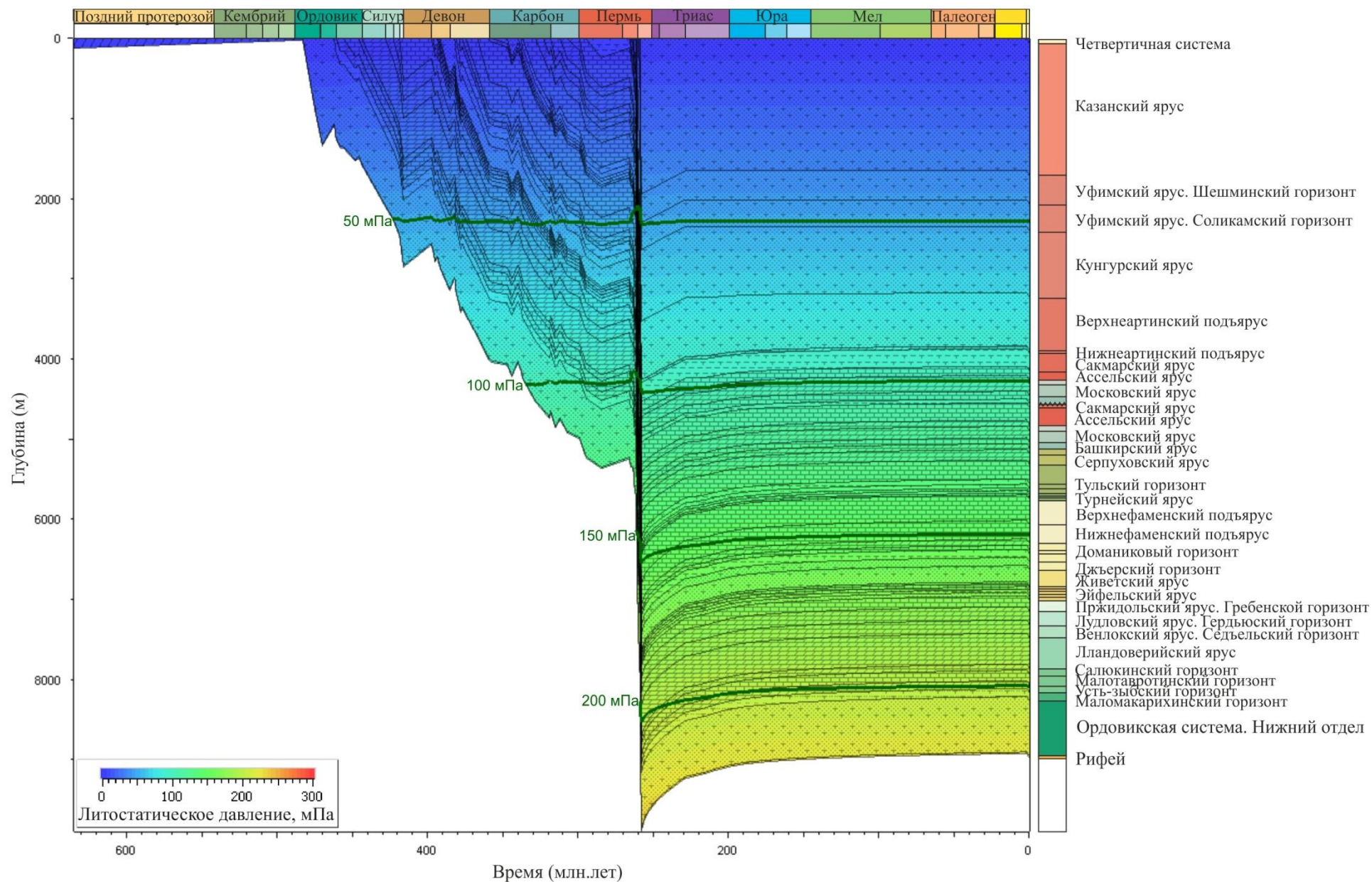


Рис. 3. Изменение литостатического давления в ходе геологической истории осадочного разреза Гудырвожской структуры



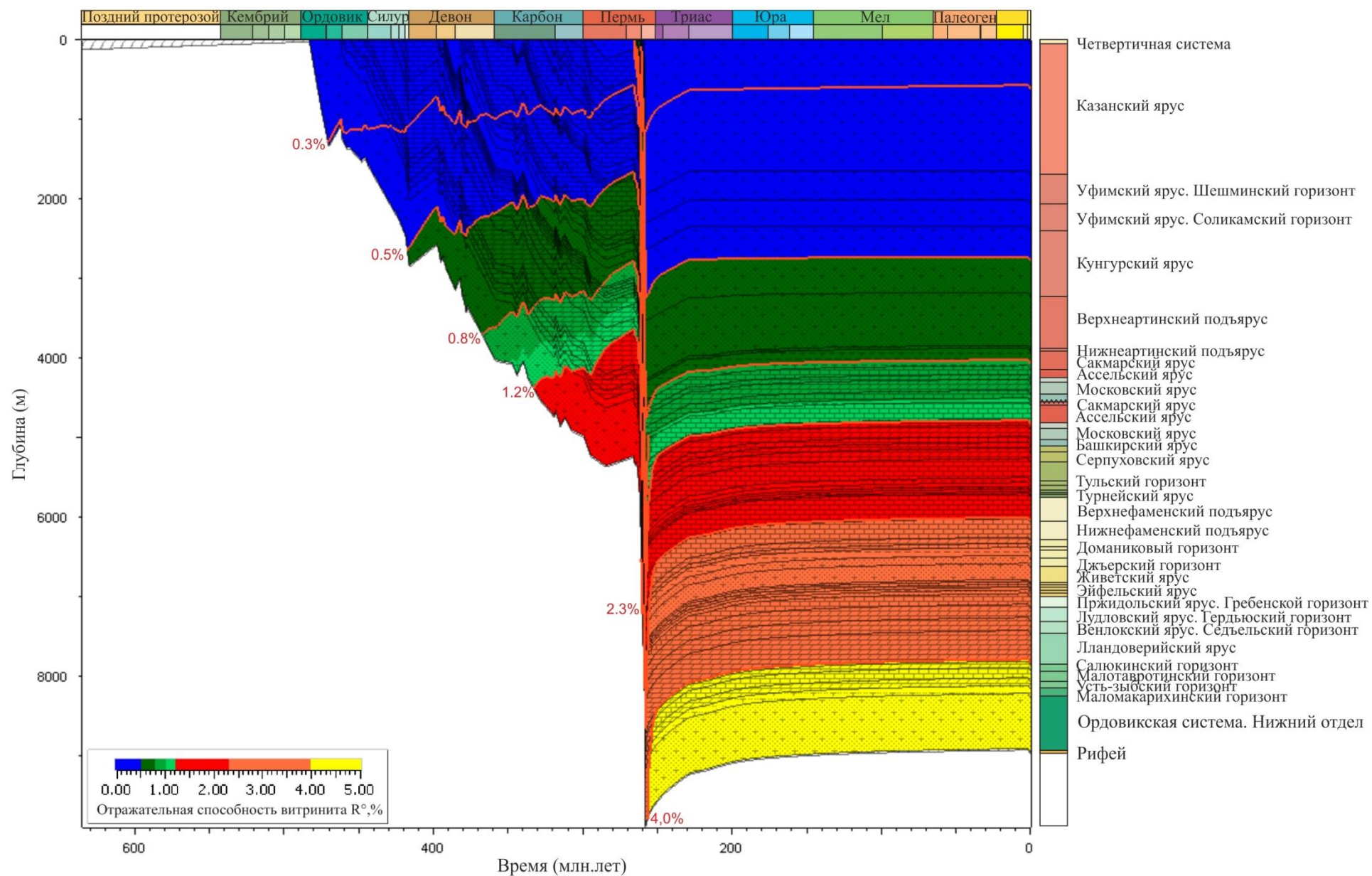


Рис. 4. Модель эволюционно-катагенетической зональности Гудырвожской структуры

На начало периода достижения максимальной палеоглубины и палеотемпературы осадочными отложениями, что соответствует поздней перми, в подошве нижнего ордовика пластовое давление составляло 98 мПа, что несколько выше гидростатического.

На комплексной модели эволюционно-катагенетической зональности разреза скважины Гудырвож 1 (рис. 4) показано, что нижняя часть осадочного разреза в позднепермско-триасовое время погрузилась в зону метагенеза ( $R^\circ > 4\%$ ). Нижняя часть кунгурского яруса впервые вступила в ГЗН в поздней перми во время формирования надвига. Подошва аллохтона и его нижняя часть в т.ч. нефтематеринские прослои артинского яруса, как и до надвигообразования в позднепермско-триасовое время, соответствовали степени катагенеза МК<sub>1</sub>. Подошва доманиковой свиты в автохтоне после формирования надвига достигла катагенеза МК<sub>3</sub> ( $R^\circ = 1,1\%$ ), позднее, во время триасового размыва и подъема территории вступила в ГЗГ. Подошва койвенского горизонта сразу же после проявления надвиговых дислокаций достигла градации катагенеза МК<sub>4</sub>.

Катагенетическая преобразованность по разрезу скважины на современное время следующая: МК<sub>1</sub> – 2760-3460 м, МК<sub>2</sub> – 3460-4065 м, МК<sub>3</sub> – 4065-4825 м, МК<sub>4</sub>-АК<sub>1</sub> – 4825-6050 м. Коэффициент трансформации органического вещества в среднем девоне и доманиковой свите резко увеличивался в позднепермско-триасовое время, в настоящее время уровень преобразования ОВ доманиковой свиты и предполагаемых НГМП терригенного девона более 90%, в артинских и кунгурских отложениях коэффициент трансформации ОВ не более 13%.

Преимущественно гумусовый состав ОВ в нижнепермских нефтематеринских отложениях аллохтона влияет на весьма низкую генерацию жидких УВ, подтвержденную геохимическими методами. При этом генерация газов на уровне градаций катагенеза МК<sub>1-2</sub>, в которую вступили нижнепермские отложения аллохтона в поздней перми, незначительна. Выявленные признаки газонасыщения коллекторов тульского горизонта предположительно, свидетельствуют о наличии НГМП в нижележащих, не вскрытых скважиной отложениях девона-ордовика, которые после надвиговых дислокаций впервые вступили в главную фазу газообразования.

Таким образом, нижняя, автохтонная часть разреза скважины Гудырвож-1 до проявления надвиговых дислокаций могла испытать влияние процессов нефтеобразования только в установленных материнских породах [4] с далеко не полной реализацией нефтяного потенциала (коэффициент трансформации менее 25 %), тогда как аллохтон подвергался влиянию процессов как нефте-, так и газообразования. После развития надвиговых дислокаций выявленные материнские породы автохтона почти полностью реализовали генерационный потенциал. Однако существует возможность повышенных перспектив газоносности Сарьюдинской зоны поднятий при более благоприятных геологических факторах.

### **Библиографический список**

1. *Мартынов А.В., Богацкий В.И. и др.* Научная обработка и обобщение материалов параметрического бурения на территории Республики Коми (скважина Гудырвож 1). Ухта: ГУП РК «Тимано-Печорский НИЦ», 1998. 246 с.
2. *Беляева Г.Л., Карасёва Т.В., Кузнецова Е.А.* Геологическое строение и нефтегазоносность глубокопогруженных отложений Тимано-Печорской НГП // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений, №7, 2012. С. 33-40
3. *Галушкин Ю.И.* Моделирование осадочных бассейнов и оценка их нефтегазоносности. – М.: Научный мир, 2007. – 456 с.
4. *Прищепа О.М., Баженова Т.К., Богацкий В.И.* Нефтегазоносные системы Тимано-Печорского осадочного бассейна (включая акваториальную Печороморскую часть) // Геология и геофизика, т. 59, №8. С-Пб., 2011. С.1129-1150.
5. *Карасева Т.В., Попов С.Г. и др.* Отчет о результатах работ по объекту «Обоснование перспектив нефтегазоносности глубокопогруженных горизонтов Тимано-Печорской, Волго-Уральской, Прикаспийской и Западно-Сибирской НГБ на основе результатов комплексной обработки и анализа материалов сверхглубокого бурения». – Пермь, КамНИИКИГС, 2014.

## **О СМЕНЕ ПАРАДИГМЫ НЕФТЕГАЗОПОИСКОВЫХ РАБОТ НА ПРИМЕРЕ СЕВЕРНЫХ РАЙОНОВ УРАЛО-ПОВОЛЖЬЯ**

В статье рассмотрены вопросы смены подходов к проведению нефтегазопроисловых работ на основе выделения нефтяных систем. Сделаны выводы о развитии нескольких нефтяных систем на севере Урало-Поволжья, что указывает на возможность открытия новых зон нефтегазонакопления.

**Ключевые слова:** нефтегазоматеринские породы, нефтяные системы, залежи углеводородов, органическая теория, миграция углеводородов.

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

## **ON THE CHANGE OF THE OIL AND GAS EXPLORATION PARADIGMON THE EXAMPLE OF THE NORTHERN AREAS OF THE URAL-VOLGA REGION**

The article deals with the issues of changing approaches to oil and gas prospecting based on the allocation of petroleum systems. Conclusions are drawn about the development of several petroleum systems in the north of the Ural-Volga region, that indicates the possibility of discovering new zones of oil and gas accumulation.

Key words: oil and gas source rocks, petroleum systems, hydrocarbon deposits, organic theory, hydrocarbon migration.

Северные районы Волго-Уральской нефтегазоносной провинции относят обычно к старым нефтедобывающим районам с практически исчерпанными основными запасами углеводородов. В то же время за последние 10-15 лет в мировой практике довольно серьезно сменилась парадигма нефтегазопроисловых работ на нефть и газ, то есть сменились теоретические основы, система взглядов, идей и подходов к проведению таких работ. Применение нового подхода в различных относительно изученных регионах мира позволило выявить новые месторождения углеводородов.

В основе смены парадигмы лежит органическая (осадочно-миграционная теория) генезиса нефти, окончательная победа которой произошла еще в конце 80-х годов прошлого века. В настоящее время вряд ли найдется в мире нефтяная компания, которая будет бурить скважины на поиск неорганической нефти. Последний в мире опыт безуспешного такого бурения, стоившего инвесторам 60 млн. долларов, произошел в конце 80-х годов в Швеции, где в пределах древнекристаллического щита в кратера Сильян Ринг была пробурена скважина Гравберг глубиной 6,8 км.

Дальнейшее развитие органической теории происхождения нефти и газа способствовало выделению нефтяных (нефтегазовых, генерационно-аккумуляционных) систем в отложениях, то есть объектов, связанных процессами генерации, миграции и аккумуляции углеводородов [7,8]. Важной особенностью таких систем является соответствие в геологическом времени проявления этих процессов. Так, генерация углеводородов должна проходить в нефтегазоматеринских породах до формирования основных ловушек. Кроме того, проведенные в различных научных центрах работы показали, что латеральная миграция нефти ограничивается расстоянием до 20 км, доминирует в природе вертикальная миграция углеводородов, для газа, пока ограничений не определено. В результате выделение источников нефти и газа (нефтегазоматеринских пород) и связанных с ними зон возможной аккумуляции углеводородов является одним из важных моментов в поисковых работах. Такое выделение можно начать проводить уже на этапе геофизических исследований [5]. Ранее основные усилия в поисковых работах были направлены на поиски ловушек. После выделения материнских пород и бурения первых скважин проводят геохимическую корреляцию органического вещества материнских пород и выявленных нефтей, газов или нефтегазопроявлений в основном по биомаркерам и изотопному составу углерода, определяют пути миграции углеводородов и изучают ловушки на этих путях. В результате значительно снижаются затраты на нефтегазопоисковые работы [5,6]. Выделение нефтяных систем является примером комплексирования геологических, геофизических и геохимических исследований.

В последнее время многие зарубежные компании ориентируются на выделение глобальных, региональных и локальных нефтяных систем, особенно это практикуется в относительно изученных районах, где наблюдается исчерпание запасов углеводородов. Геологическая служба США даже провела исследования по нефтегазоносным бассейнам мира и попыталась выделить основные глобальные нефтяные системы. Номер получила и глобальная доманиковая нефтяная система Волго-Урала (рис.1).

Разумеется, выделению глобальной нефтяной системы способствовало обобщение публикаций российских исследователей. Действительно, основная часть эффективных нефтематеринских доманикитов выявлена в пределах Камско-Кинельской системы впадин (ККСВ), которая давно привлекала внимание геологов как зона аккумуляции нефти [4]. Однако в самой ККСВ не проводили детальные корреляции материнских пород и нефтей, не выделяли региональные и локальные нефтяные системы. В результате не все ясно с путями миграции углеводородов, а значит, могут быть открыты новые ловушки и залежи.



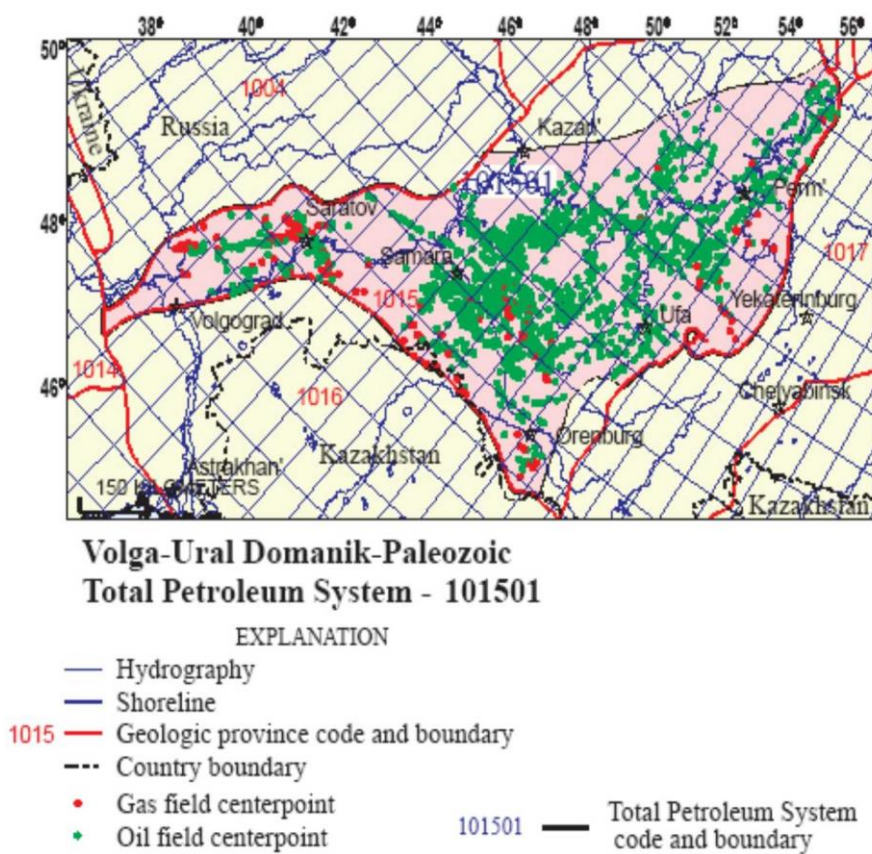


Рис. 1. Глобальная Волго-Уральская нефтяная система (USGeological..., 2000)

С другой стороны, если обратить внимание на распределение залежей углеводородов на севере Урало-Поволжья, то можно заметить, что ряд из них находятся за пределами влияния доманикитов ККСВ и являются условно «беспризорными», то есть залежами с невыясненными источниками нефти (рис. 2). К «беспризорным» можно отнести залежи нефти западнее ККСВ в Пермском крае, газовые месторождения в Юрюзано-Сылвенской депрессии в Башкортостане, залежи нефти в северных и северо-западных районах Удмуртской республики. Материнские породы в этих малоизученных зонах не установлены. Известно [1, 4], что в северных районах Урало-Поволжья практически одновременно с ККСВ формировались так называемая Камско-Вятская система впадин, в Юрюзано-Сылвенской депрессии Предуральяского прогиба – Уткинско-Серебрянская впадина. По результатам бурения в Башкортостане федеральной параметрической скважины Аракаевская оказалось, что распространение этой впадины возможно в более восточном направлении. Неясно было происхождение залежей нефти в терригенном девоне южных районов ККСВ. Проведенные А.Е. Кожевниковой [3] исследования убедительно показали, что они образовались за счет миграции нефти сверху вниз, то есть за счет доманикитов ККСВ. Развитие доманиковой нефтяной системы в поддоманиковых отложениях вряд ли является единичным случаем в Урало-Поволжье. В результате не все нефтяные системы, а следовательно и направления миграции углеводородов в исследуемом регионе выявлены.



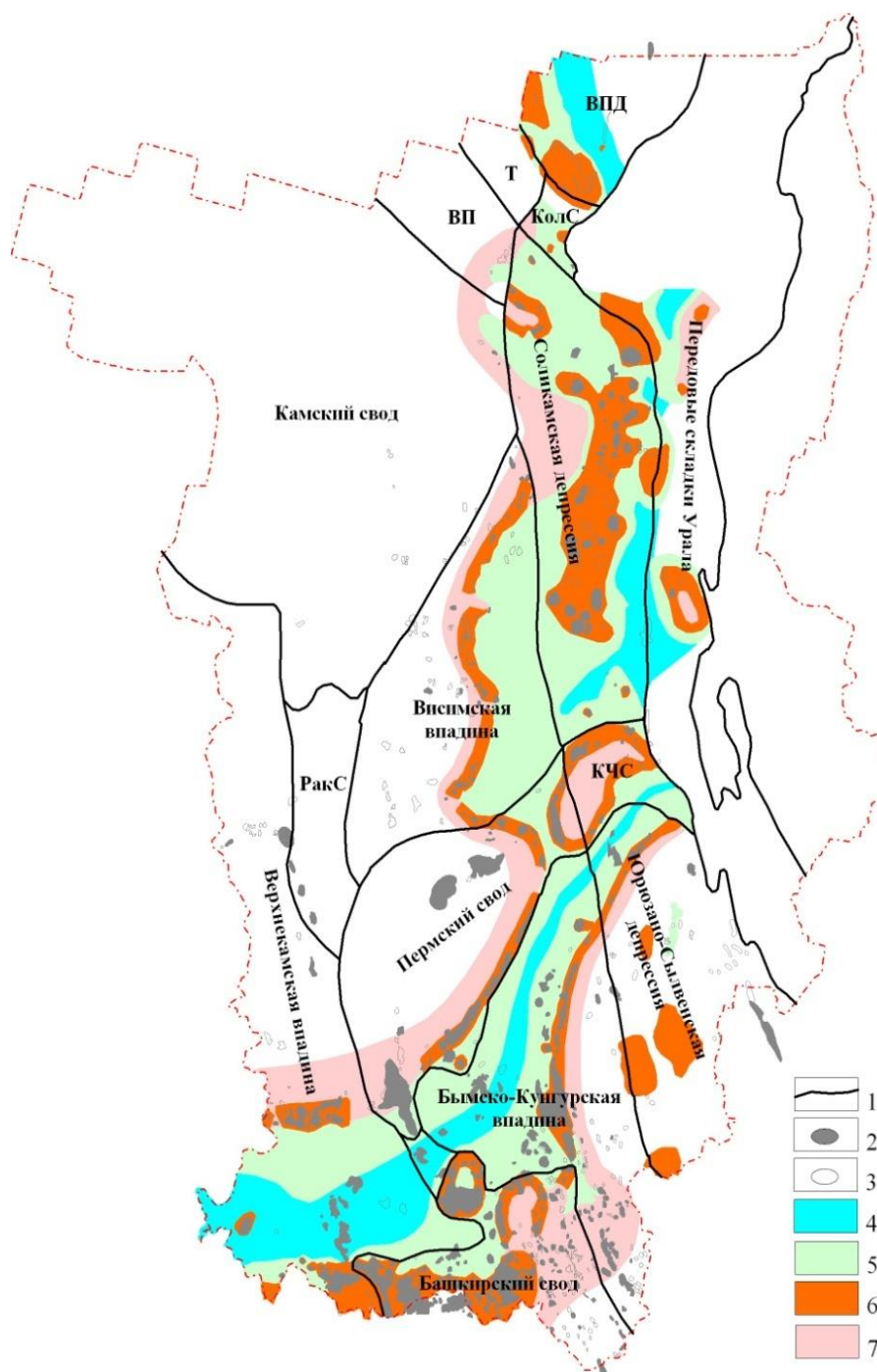


Рис. 2. Тектоническая схема территории Пермского края (Бычков и др., 2010)

1 – границы крупных структур (ВПД – Верхнепечорская депрессия, Т– Тиманская гряда, ВП – Вычегодский прогиб, КолС – Колвинская седловина, РакС – Ракшинская седловина, КЧС – Косьвинско-Чусовская седловина), 2 – месторождения нефти, 3 – выявленные и подготовленные структуры; Камско-Кинельская система прогибов: 4 – осевая зона, 5 – внутренняя прибортовая, 6 – бортовая, атоллы и палеоплато, 7 – внешняя прибортовая зона.

В плане выделения нефтяных систем представляет интерес залежь нефти в терригенном девоне Чубойского месторождения в Удмуртской республике. По результатам корреляции биомаркеров и изотопного состава углерода оказалось, что эта нефть сформировалась за счет генерации в калтасинской свите протерозоя. Следует отметить, что все протерозойские нефти мира существенно отли-

чатся от более молодых низким содержанием н-алканов, изопреноидов, металлопорфиринов, «легким» изотопным составом углерода ( $\delta^{13}\text{C}$  составляет -31‰ и ниже), что и характерно для нефти Чубойского месторождения. Опять же вряд ли это единственный случай появления залежи в палеозое, относящейся к калта-синской (рифейской) нефтяной системе.

Таким образом, существенная смена парадигмы нефтегазопроисковых работ с выделением и оценкой нефтяных систем в относительно изученном регионе севера Урало-Поволжья будет способствовать открытию новых зон нефтегазонакопления.

#### **Библиографический список**

1. Белоконов (Карасева) Т.В., Гецен Н.Г., Катаева Т.А. Перспективы нефтегазоносности севера Урало-Поволжья по данным геохимии доманикитов // Геология нефти и газа. М., 1990, 03, С.20-23.
2. Бычков С.Г., Неганов В.М., Мичурин А.В. Нефтегазгеологическое районирование территории Пермского края // Нефтегазовое дело, 2010, С.2-28.
3. 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.
4. Проворов В.М., Коблова А.З., Белоконов (Карасева) Т.В. Влияние эволюции эпиплатформенных впадин на формирование очагов нефтегазообразования и нефтегазонакопления // Тектоническая цикличность и нефтегазоносность: Тр. ВНИГНИ. М., 1985, С. 64-75.
5. Cleveland M. J. The oil and gas industry must break the paradigm of the current exploration model // J. Petrol. Explor. Prod. Technol. 2018, 8, P.131–142. <https://doi.org/10.1007/s13202-017-0395-2>.
6. Debjyoti D. Petroleum System Based Integrated Exploration and Prospect Generation / SPE Oil and Gas India Conference and Exhibition, Mumbai, India, Paper Number: SPE-194671-MS, April, 2019, <https://doi.org/10.2118/194671-MS>.
7. Magoon, L.B. The play that complements the petroleum system—a new exploration equation // Oil and Gas Journal, 1995, vol. 93, no. 40, P. 85–87
8. Magoon L. B., Dow W. G. The petroleum system – from source to trap // AAPG memoir 60, 2012, 312p.

**СОВРЕМЕННЫЙ АЛГОРИТМ ИЗУЧЕНИЯ  
И ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ РАБОТ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ  
ОТКРЫТИЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПЕСЧАНО-ГРАВИЙНОЙ СМЕСИ  
(НА ПРИМЕРЕ «БИШКОВСКОГО» УЧАСТКА РАБОТ,  
СВЕРДЛОВСКАЯ ОБЛАСТЬ)**

Цель работ – выявление и подсчёт прогнозных ресурсов категории P<sub>1</sub> и запасов песчано-гравийной смеси по категориям C<sub>1</sub> и C<sub>2</sub> на «Бишковском» участке работ. Объект расположен на территории МО Красноуфимский округ Свердловской области. Полезная толща представлена песчано-гравийной смесью с маломощными прослоями песка, обводнена. Основные параметры месторождения: объем горной массы песчано-гравийной смеси и песка – 917,0 тыс. м<sup>3</sup>, мощность полезной толщи – до 6,8 м, мощность вскрыши до 4,4 м, среднее содержание глинистых песков – 6,5%. Глинистые пески используются в качестве грунтовых строительных материалов, ПГС – для производства строительных смесей. Срок выполнения работ – 1,5 года. Оценочная стоимость выполнения работ – 1400 тыс. руб.

**Ключевые слова:** месторождение, Бишковское, песчано-гравийная смесь, подсчет запасов, категории запасов, О-40-XXXV, Свердловская область, с. Бишково.

**А.А. Paderin**  
PGNIU, Perm, saintlow0@mail.ru

**MODERN STUDY ALGORITHM AND SEQUENCE OF PROVIDES  
THE DISCOVERY OF A SAND AND GRAVEL MIXTURE DEPOSITS  
(BY THE EXAMPLE OF THE  
"BISHKOV" WORK SITE, SVERDLOVSK REGION)**

The purpose of the work was to identify and calculate the predicted resources of category P<sub>1</sub> and reserves of sand and gravel mixture in categories C<sub>1</sub> and C<sub>2</sub>. The Bishkovsky site is located on the territory of the Krasnoufimsky district of the Sverdlovsk region. The useful stratum is represented by a sand-gravel mixture with thin sand interlayers, watered.

The main parameters of the deposit: the volume of the rock mass of sand-gravel mixture and sand – 917.0 thousand m<sup>3</sup>, the content of silt-clay particles – up to 6.5%. Clay sands are used as ground building materials, ASG – for the production of building mixtures. The term of work performance is 1.0 years. Estimated cost of work – 1400 thousand rubles.

**Key words:** deposit, Bishkovskoye, sand-gravel mixture, reserve calculation, reserve categories, O-40-XXXV, Sverdlovsk region, Bishkovo village.

## **Введение**

Свердловская область богата месторождениями строительных материалов различного назначения. Такое богатство объясняется наличием ряда факторов, способствующих формированию аллювиальных комплексов, среди которых можно

выявить данные месторождения. И поскольку такие комплексы являются результатом геологического развития территории под влиянием механического выветривания, факторами, обуславливающими данный процесс являются наличие агента выветривания – воды, и субстрата – пород, испытавших неотектонические изменения (подъем). Южная часть Свердловской области (западный Урал) имеет весьма обширную речную сеть, а также расположена на территории Уральских гор (зоны, испытавшей слабые новейшие тектонические поднятия).

Объектом данного исследования являлись аллювиальные отложения левобережья р. Уфа, среди которых проводились поисково-оценочные работы. Автором проводилось проектирование данных работ, их реализация и геологическая интерпретация полученных материалов с экономической оценкой целесообразности освоения недр в пределах выделенной площади.

### **Физико-географическое положение**

В административном положении исследуемый участок расположен на левом берегу р. Уфа на территории Муниципального образования Красноуфимский городской округ Свердловской области в 10 км восточнее г. Красноуфимска, в 2 км восточнее с. Рахмангулово, в 1,2 км севернее с. Бишково (рис. 1), в пределах листа О-40-XXXV.

### **Геологическое строение месторождения**

Геологическое строение месторождения в пределах лицензионного участка достаточно простое. Продуктивные отложения Бишковского месторождения приурочены к четвертичным аллювиальным отложениям поймы и 1-й надпойменной террасы ( $alQ_2$ ) левобережья р. Уфы. Полезная толща представляет собой горизонтально-залегающую, практически полностью обводненную, пластообразную залежь песчано-гравийных отложений. Залежь состоит из слоя песка и (ниже) слоя песчано-гравийной смеси (ПГС). И если слой ПГС распространен на всем участке, то слой песка выклинивается в сторону юго-восточного угла участка. Контакты залежи полезного ископаемого с вмещающими породами субгоризонтальные. Вскрышные породы (суглинки) достигают наибольшей мощности в юго-восточной части участка. Общая мощность полезной толщи (песок и ПГС) изменяется от 4,6 до 7,3 м, средняя мощность составляет 6,3 м.

Полезная толща полностью перекрыта вскрышными породами, представленными почвенно-растительным слоем и суглинком. Мощность вскрышных пород колеблется от 0,9 до 1,9 м, средняя – 1,4 м.

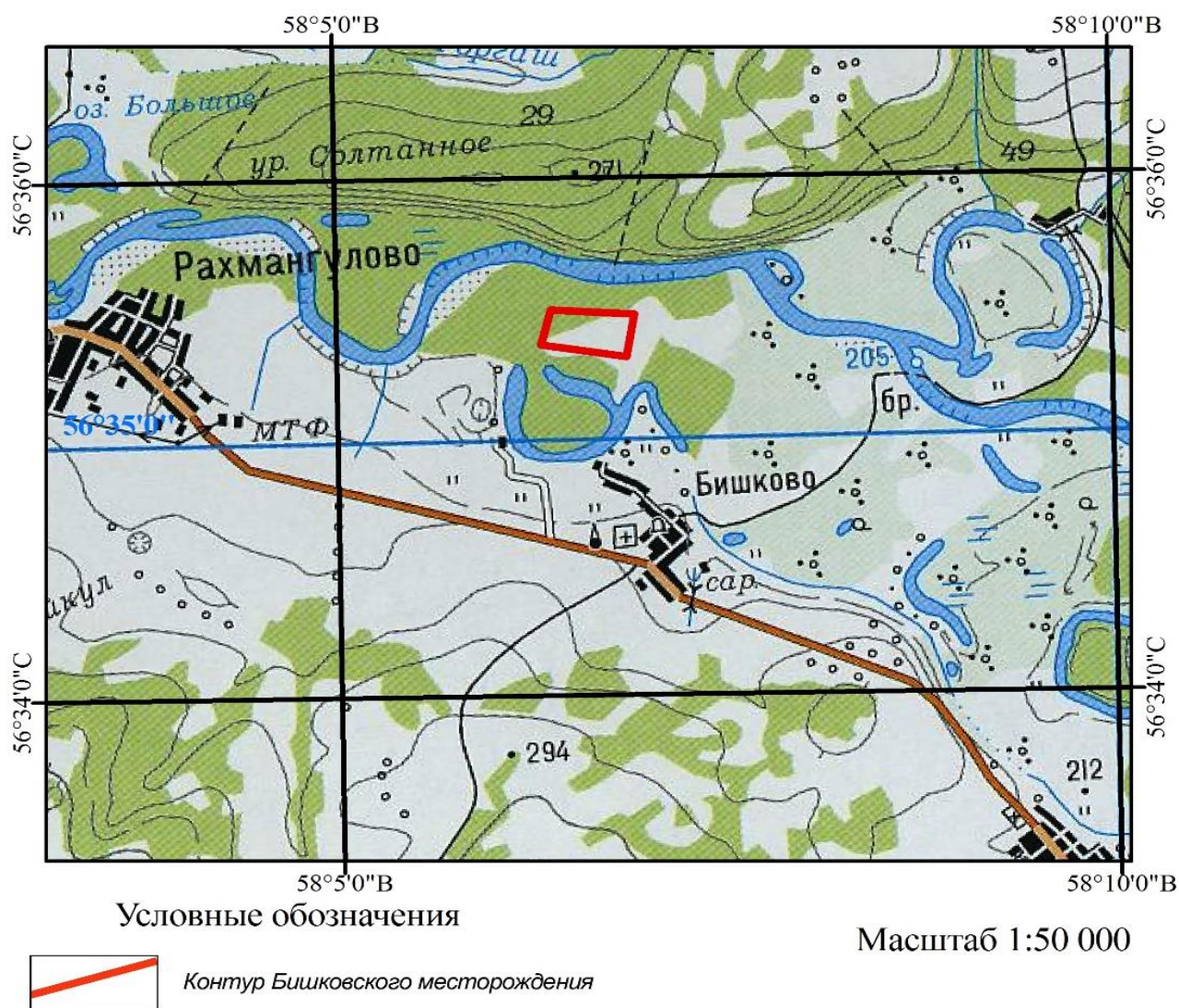


Рис. 1. Географическое положение Бишковского месторождения

Подстилают полезную толщу дресвяный и щебнистый грунт, сложенные обломками песчаника с глинистым заполнителем, а также песчаник серый мелкозернистый.

Согласно «Классификации запасов и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых», утвержденной приказом Министра природных ресурсов от 11 декабря 2006 г. №278 и «Методическими рекомендациями по применению классификации запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых. Песок и гравий» залежь ПГС Бишковского месторождения по сложности геологического строения отнесена ко 2-й группе, о чем говорят морфометрические характеристики залежи и геоморфологическая приуроченность (Современные русловые и террасовые залежи песка и песчано-гравийных пород, изменяющие в годовом или многолетнем цикле пространственное положение, форму и размеры) [1,2].



## Выполненные работы

Согласно проектной документации, составленной автором, для решения задачи, включающей поиски и оценку песчано-гравийной смеси в пределах выбранного участка, планировалось выполнить следующий комплекс работ:

1. Предполевые работы и проектирование;
2. Полевые работы:
  - бурение скважин;
  - документация и опробование керна скважин;
  - топографо-геодезические работы
  - гидрогеологические работы;
3. Лабораторные работы;
4. Камеральная обработка материалов.

Бурение скважин проводилось методом последовательного сгущения разведочной сети (рис. 2). Изначально сеть горных выработок составляла 500x300 м для удовлетворения категории прогнозных ресурсов  $P_1$ . На следующем шаге сеть сгущалась в соответствии с категорией  $C_2$  (150x300 м), и на участке детализации  $C_1$  (150x150).

Гидрогеологические исследования заключались в проведении опытно-фильтрационных работ (откачки) для установления коэффициента фильтрации.

Целью топографо-геодезических работ являлось проведение инструментальной привязки геологоразведочных выработок, а также создание топографической основы участка в масштабе 1:1000 методом тахеометрической съемки с сечением рельефа через 0,5 м в местной системе координат МСК-66-Зона 1 (с предоставлением координат выработок в системе ГСК-2011) и Балтийской системе высот.

Лабораторные исследования включали изучение следующих характеристик полезного ископаемого:

- гранулометрический состав;
- дробимость, истираемость, морозостойкость гравия из песчано-гравийных отложений;
- содержание органических примесей;
- минералого-петрографические исследования;
- химический состав воды и песка;
- удельная эффективная активность радионуклидов;
- потенциально-реакционная способность;
- естественная влажность;
- коэффициент фильтрации и угол откоса пород.

Данный комплекс проведенных работ позволил оценить сырье исследуемого участка на соответствие следующим отраслевым стандартам [3-7].

Камеральная обработка материалов включала составление ТЭО временных разведочных кондиций и отчет с подсчетом запасов.



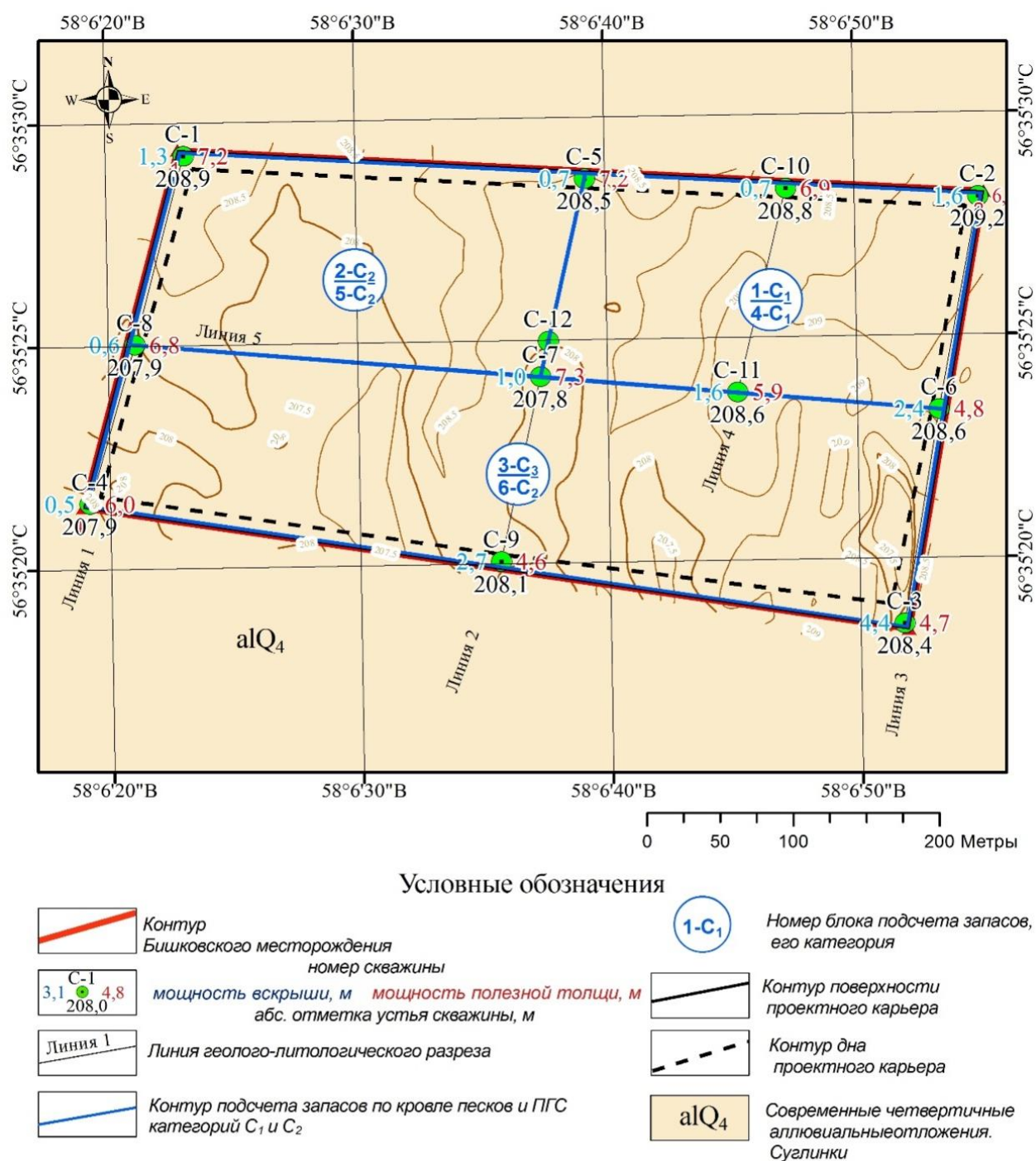


Рис. 2. План подсчета запасов Бишковского месторождения

## Основные параметры месторождения

Статистическая обработка результатов лабораторных исследований состояла в определении гранулометрического состава всей залежи путем расчета средневзвешенных значений.

Песчано-гравийные отложения Бишковского месторождения представлены двумя слоями – песка и песчано-гравийной смеси, которые были опробованы и подвержены лабораторным испытаниям.

В соответствии с ГОСТ 8736-2014 песок верхней части залежи является очень мелким (II класс) и не удовлетворяет нормативным требованиям ввиду высокого

содержания фракции менее 0,16 мм и пылеватых и глинистых частиц. С учетом того, что залежь обводнена и выработка планируется гидромеханизированным способом, доля пылевидных и глинистых частиц будет уменьшена, таким образом песок будет удовлетворять ГОСТ 8736-2014.

Согласно ГОСТ 8736-2014 песок из ПГС является крупным (II класс), и удовлетворяет всем нормативным требованиям, помимо превышения содержания пылевидных и глинистых частиц менее чем на единицу, что нивелируется в процессе разработки за счет гидромеханизированного метода извлечения. Впоследствии данный песок может быть использован для строительства дорог, изготовления бетона и других смесей [3].

Гравийная часть песчано-гравийной смеси полностью отвечает требованиям ГОСТ 8267-93 «Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ» и может быть использована для строительных работ без ограничений (дробимость M1000, истираемость И1, морозостойкость F50-F200) [4].

Природная песчано-гравийная смесь по составу соответствует ГОСТ 23735-2014 «Смеси песчано-гравийные для строительных работ» [5].

Песчано-гравийная смесь в природном виде по составу не соответствует ГОСТ 25607-2009 «Смеси щебеночно-гравийно-песчаные для покрытий и оснований автомобильных дорог и аэродромов», но может быть использована в качестве основы для смесей данного ГОСТа. При добавлении фракции 40-70 (15 % от массы) полученная смесь будет удовлетворять зерновому составу смесей С4 и С9 [6].

Результаты радиометрических исследований песчано-гравийной смеси свидетельствуют о том, что удельная эффективность материала меньше граничного значения 370 Бк/кг (25,0-51,1 Бк/кг). Согласно приложению НРБ-99/2009 к Сан-ПиН 2.6.1.2523-09 данный материал относится к 1 классу и может быть использован в строительстве без ограничений [7].

Запасы песка и песчано-гравийной смеси подсчитаны методом геологических блоков и совокупно оценены в количестве 917,0 тыс. м<sup>3</sup>. Достоверность полученных объемов контролировалась подсчетом запасов по методу сечений. Результаты проверки представлены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты подсчета запасов различными методами

№ блока, категория запасов	Метод геологических блоков	Метод Вертикальных сечений	Отклонение
1-С <sub>1</sub>	121,0 тыс. м <sup>3</sup>	112,0 тыс. м <sup>3</sup>	9,0 тыс. м <sup>3</sup> (7,0%)
2-С <sub>2</sub>	120,0 тыс. м <sup>3</sup>	119,0 тыс. м <sup>3</sup>	1,0 тыс. м <sup>3</sup> (0,8%)
3-С <sub>2</sub>	188,0 тыс. м <sup>3</sup>	190,0 тыс. м <sup>3</sup>	2,0 тыс. м <sup>3</sup> (1,0%)
4-С <sub>1</sub>	118,0 тыс. м <sup>3</sup>	126,0 тыс. м <sup>3</sup>	8,0 тыс. м <sup>3</sup> (6,0%)
5-С <sub>2</sub>	149,0 тыс. м <sup>3</sup>	146,0 тыс. м <sup>3</sup>	3,0 тыс. м <sup>3</sup> (2,0%)
6-С <sub>2</sub>	221,0 тыс. м <sup>3</sup>	212,0 тыс. м <sup>3</sup>	9,0 тыс. м <sup>3</sup> (4,0%)
Всего:	917,0 тыс. м <sup>3</sup>	905,0 тыс. м <sup>3</sup>	12 тыс. м <sup>3</sup> (1,3%)

На основании полученных данных автором было разработано технико-экономическое обоснование временных разведочных кондиций. Технико-экономические показатели разработки Бишковского месторождения определены с учетом гидромеханизированного варианта разработки (табл. 2).

Таблица 2. Технико-экономические показатели разработки

№	Параметры	Ед.изм.	Показатель
1	Площадь месторождения	га	15,7
2	Геологические запасы	тыс. м <sup>3</sup>	917,0
3	Потери	%	9,5
4	Эксплуатационные запасы	тыс. м <sup>3</sup>	830,3
5	Годовая производительность	тыс. м <sup>3</sup>	100,0
6	Срок обеспеченности запасами	год	8,3
7	Горизонт расчета	год	8,3
8	Цена 1 куб. м продукции	руб.	500,0
9	Среднегодовая стоимость продукции	тыс. руб.	50 000,0
10	Капитальные затраты	тыс. руб.	33 858,0
11	Эксплуатационные затраты, в т.ч.	тыс. руб.	17 244,7
12	– годовая себестоимость горных работ, без учета:	тыс. руб.	5 000,0
13	– отчисления на оплату труда	тыс. руб.	1 800,0
14	– отчисления в ПФ, ФСС, ФОМС	тыс. руб.	540,0
15	– амортизация	тыс. руб.	6 771,6
16	– налог на землю	тыс. руб.	331,4
17	– НДС	тыс. руб.	2 750,0
18	– транспортные налоги	тыс. руб.	27,7
19	– плата за загрязнение окружающей среды	тыс. руб.	24,0
20	Валовая (балансовая) прибыль	тыс. руб.	32 755,3
21	Налог на имущество	тыс. руб.	744,9
22	Налогооблагаемая прибыль	тыс. руб.	32 010,4
23	Налог на прибыль	тыс. руб.	6 402,1
24	Чистая годовая прибыль	тыс. руб.	25 608,3
25	Оборотный капитал	тыс. руб.	3 448,9
26	Удельные эксплуатационные затраты на 1 куб. м продукции (себестоимость)	руб.	172,4
27	Срок окупаемости капитальных вложений		
	– с учетом дисконтирования	год	1,37
	– без учета дисконтирования	год	1,3
28	Ставка дисконта	%	15,0
29	Чистый дисконтированный доход	тыс. руб.	100 651,8
30	Индекс доходности	дол. ед.	4,0
31	Внутренняя норма доходности	%	304,2
32	Бюджетная эффективность	тыс. руб.	10 820,1

## Основные выводы

Песчано-гравийные отложения среднего течения р. Уфа в районе Красноуфимского муниципального округа имеют мощность до 7,3 м и составляют аллювиальную свиту с достаточно сортированным материалом. Сверху вниз по разрезу повышается грубообломочность отложений. Подстилающими породами являются песчаники кунгурского яруса, дезинтегрированные в кровле до неокатанного щебенистого грунта.

Прогнозные ресурсы категории  $P_1$  (в соответствии с геолзаданием) составили 917 тыс.м<sup>3</sup>. Запасы, подсчитанные в количестве 917,0 тыс. м<sup>3</sup>, утверждены и поставлены на баланс КЗОПИ Свердловской области. Срок выполнения геологического блока работ от начала предполевых работ до камеральной обработки составил 4 мес. Постановка месторождения на баланс и утверждение запасов в территориальных органах – 12 мес. Общая сметная стоимость работ оценивается в 1,4 млн. руб.

К сожалению, до сих пор в качестве обязательного условия при оценке месторождений ПГС не принято оценивать комплекс попутных компонентов, входящих в состав месторождений [8-10] и получение сортированных песков из продуктов их дополнительного обогащения путем принудительной дифференциации например на базе комплекса винтовых аппаратов [11]. Подход к месторождениям ПГС как к комплексному минеральному сырью – надежный путь рационального освоения недр.

## Библиографический список

1. *Классификация запасов* и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых (утв. Приказом МПР России от 11 декабря 2006 года № 278), Москва, 2006;
2. *Методические рекомендации* по применению Классификации запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых (Утверждены распоряжением МПР России от 05.06.2007 г. № 37-р). Песок и гравий. Москва, 2007;
3. *ГОСТ 8736-2014* «Песок для строительных работ. Технические условия», М, 2015;
4. *ГОСТ 8267-93* «Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия» М, 1995;
5. *ГОСТ 23735-2014* «Смеси песчано-гравийные для строительных работ. Технические условия» М, 2015;
6. *ГОСТ 25607-2009* «Смеси щебёночно-гравийно-песчаные для покрытий и оснований автомобильных дорог и аэродромов. Технические условия», М, 2011;
7. *СанПиН 2.6.1.2523-09* «Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009)». Москва, 2009.
8. *Лунев Б.С.* Комплексно осваивать песчаные и песчано-гравийные месторождения Прикамья /Б.С.Лунев, В.А. Наумов, О.Б. Наумова // Строительные материалы. 1996. № 3.
9. *Наумов В. А.* Комплексное изучение и использование месторождений песка и гравия пермского края / В. А. Наумов, Б. С. Лунев, О. Б. Наумова // Перспективы науки. – 2010. – № 1(3). – С. 5-9.
10. *Лунев, Б. С.* Мелкие ценные минералы в аллювии Пермского края / Б. С. Лунев, В. А. Наумов, О. Б. Наумова // Естественные и технические науки. – 2011. – № 3(53). – С. 250-251.
11. *Наумов В.А., Наумова О.Б.* Формы нахождения и перспективы освоения золота в природных и техногенно-минеральных образованиях Западного Урала // Вестник Пермского университета. Геология. 2019. Т. 18. № 1. С. 55-63.

**А.Н. Порфирьева, В.А. Шатов, А.Ю. Яковлев**  
Филиал ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» «ПермНИПИнефть» в г. Перми;  
Anna.Porfirieva@pnn.lukoil.com; Vladimir.Shatov@pnn.lukoil.com;  
Andrej.Yakovlev@pnn.lukoil.com.

## **МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАЗМЕЩЕНИЯ ПОПУТНЫХ ВОД В ПОГЛОЩАЮЩИХ ГОРИЗОНТАХ ПАЛЕОЗОЙСКОГО РАЗРЕЗА НА ПЕРСПЕКТИВНЫХ УЧАСТКАХ ЮГА СОЛИКАМСКОЙ ДЕПРЕССИИ**

В статье представлены основные критерии обоснования поглощающих горизонтов для закачки попутных вод Усольского калийного комбината в подсолевые толщи палеозойских отложений в южной части Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей. Авторами изучены и описаны основные геолого-гидрогеологические, технологические и экологические условия размещения поглощающих коллекторов. Выявлены поглощающие толщи на исследуемой территории.

Применение метода вероятностного математического моделирования позволило определить потенциальную возможность захоронения попутных вод в поглощающие горизонты перспективных участков юга Соликамской депрессии.

**Ключевые слова:** Соликамская депрессия, попутные воды, поглощающие горизонты, вероятностное моделирование, метод Монте-Карло, приращение пластового давления.

**A.N. Porfirieva, V.A. Shatov, A.Y. Yakovlev**  
«LUKOIL-Engineering» LLC «PermNIPIneft» Branch Office in Perm; Anna.Porfirieva@pnn.lukoil.com; Vladimir.Shatov@pnn.lukoil.com;  
Andrej.Yakovlev@pnn.lukoil.com.

## **MATHEMATICAL MODELING OF DEEP WELL UNGECTION OF BRINE WASTE IN ABSORPTING HORIZONS OF THE PALEOZOIC SECTION IN THE SOUTH OF THE SOLIKAMSK DEPRESSION**

Usolye potash plant's Brine Waste will be pumped into the deep horizons in the south of the Verkhnekamskoe Deposit of potassium and magnesium salts. The main criteria for the selection of appropriate horizons for deep Well Injection are represented. The main geological, hydrogeological, technological and environmental conditions of absorbing reservoirs are studied and described and appropriate horizons are selected.

Application of the probabilistic modeling method to determine the potential possibility of deep well injection of brine waste in absorbing stratum in the south of the Solikamsk depression.

**Ключевые слова:** Solikamsk depression, associated waters, absorbing horizons, probabilistic modeling, Monte-Carlo method, reservoir pressure increment.

В связи с возрастающими темпами добычи калийно-магниевых солей компанией «ЕвроХим» возникает одна из главных задач современного недропользователя – утилизация больших объемов промышленных рассолов. Учитывая эти обстоятельства, сохраняет актуальность тема ликвидации попутных вод путем подземного размещения в глубокие поглощающие горизонты.

В настоящее время «ЕвроХим – Усольский калийный комбинат» является крупнейшим производителем минеральных удобрений в России и входит в тройку крупнейших мировых компаний отрасли. По прогнозам, в первые годы эксплуатации калийного комбината в накопительных бассейнах будет образовываться не менее 0,5 млн. м<sup>3</sup> попутных вод. Решением возникшей проблемы является размещение попутных вод в глубоких горизонтах палеозойских отложений.

Подземное захоронение попутно добываемых при нефтедобыче соленых вод и рассолов посредством закачки в глубокие горизонты недр через специальные поглощающие скважины применялось в начале XX века в России и США. Позднее этот метод был использован также в ряде других стран на предприятиях нефтеперерабатывающей, газовой, калийной и химической промышленности [1, 2].

Выбор эксплуатационного объекта под закачку рассолов производился в результате оценки геолого-гидрогеологических условий территории, а также с учетом технологических и экологических факторов.

При обосновании объекта закачки рассолов основное внимание уделялось оценке геологического разреза и гидрогеологических условий территории:

- определению наличия пригодных для закачки водонасыщенных интервалов (в т.ч. с поглощениями промывочной жидкости при бурении скважин), представленных высокопроницаемыми и высокеемкими коллекторами в пределах изучаемой части геологического разреза;
- выявлению благоприятных геоструктурных и геофильтрационных условий размещения попутных вод с точки зрения изоляции объекта от вышележащих продуктивных отложений.

Изучение геолого-гидрогеологического разреза юга Соликамской депрессии с целью выбора пласта-коллектора под закачку попутных вод Усольского калийного комбината было проведено с использованием имеющейся геологической информации нефтяных месторождений (Уньвинского, Сибирского, Шершневого и им. Архангельского), расположенных на данной территории. Отмечено, что в подсолевой толще палеозойских отложений данной территории имеются пласты-коллекторы с хорошими фильтрационными свойствами пород (высокие значения пористости и проницаемости пород и достаточно большая суммарная эффективная толщина пластов). По данным опробования скважин исследуемого участка встречены многочисленные поглощения бурового раствора в разновозрастных палеозойских отложениях. Интенсивность поглощений в породах нижнепермско-верхнекаменноугольного, башкирско-серпуховского и турнейско-фаменского возрастов фиксируется от частичного до полного. Данные отложения могут рассматриваться как перспективные для закачки попутных вод Усольского комбината, что подтверждается их использованием для закачки подтоварных вод на Уньвинском, Чашкинском, Логовском и Озерном месторождениях нефти в Соликамской депрессии, а также на других нефтепромыслах Волго-Уральской нефтегазоносной провинции [3].

При обосновании объекта закачки рассолов важно учитывать следующие технологические факторы:



- хорошая совместимость закачиваемых рассолов и пластовых вод палеозойских отложений (или относительно простые способы предварительной водоподготовки закачиваемых рассолов) во избежание процесса солеотложения в призабойной зоне нагнетательных скважин;

- размещение попутных вод в поглощающие горизонты непродуктивных (лучше подпродуктивных) отложений, для исключения техногенного воздействия данного процесса на разработку калийных залежей.

Оценка технологических факторов недропользования на данной территории показала, что для закачки попутных вод можно использовать только пласты-коллекторы в карбонатных нижнепермских (артинских, сакмарских и ассельских) отложениях.

При размещении попутных вод Усольского калийного комбината в поглощающие горизонты нижнепермских карбонатных отложениях растворы совместимы, выпадение сульфата кальция не прогнозируется; напротив, при закачке в горизонты визейских, окско-серпуховских и турне-фаменских отложений будет наблюдаться выпадение осадка, что делает растворы не совместимыми для данных целей. Выпадение карбонатов кальция при закачке попутных вод в рассматриваемые горизонты наблюдается только при содержании рассолов в смеси менее 20-30% [3].

Учет экологических факторов при обосновании объекта закачки рассолов предполагает:

- глубокое залегание эксплуатационного объекта закачки с высокой степенью изоляции от горизонтов пресных подземных вод;

- невысокая вскрытость отложений объекта закачки «старым» скважинным фондом, что снижает вероятность возникновения вертикальных межпластовых перетоков.

Данным экологическим требованиям соответствуют пласты-коллекторы в карбонатных нижнепермских (артинских, сакмарских и ассельских) отложениях, надежно изолированные от пресноводных горизонтов терригенно-соленосно-гипсоносной толщей отложений кунгурского яруса.

Таким образом, наиболее перспективным объектом для закачки попутных вод с гидрогеологических, экологических и технологических позиций являются *горизонты нижнепермского-верхнекаменноугольного водоносного комплекса*. Комплекс содержит водоносные горизонты, обладающие хорошими емкостными и фильтрационными свойствами, пластовые воды которых совместимы с закачиваемыми рассолами. Комплекс не содержит перспективных для разработки минерально-сырьевых ресурсов. Он надежно перекрыт сверху мощной толщей слабопроницаемых и водоупорных отложений кунгурского яруса, а снизу водоупорными глинистыми отложениями мячковского яруса.

Для выполнения прогнозных расчетов процесса размещения рассолов в пластах горных пород математическим методом вероятностного моделирования были проведены: схематизация геолого-гидрогеологического разреза исследуемых Палашерского (вблизи щламохранилища Усольского калийного комбината), Шершневого и Белопашнинского участков (в зоне максимального рас-

пространения рифовых органогенных построек в артинских отложениях), определение фильтрационных и емкостных параметров (средних расчетных значений) водовмещающих и слабопроницаемых пород на каждом из участков.

В связи с неоднородностью строения нижнепермско-среднекаменноугольных отложений участков недр, как в латеральном, так и в вертикальном направлениях, для прогнозных расчетов были использованы две геофильтрационные схемы:

- схема 1 – неограниченная трехпластовая изолированная толща с депрессионным типом разреза карбонатных отложений для Палашерского участка;
- схема 2 – неограниченная изолированная трехпластовая толща, где в центре эксплуатационного объекта «пласт-круг» (изолированный риф относительно изометрической формы) в окружении депрессионного типа разреза – для Шершнёвского и Белопащинского участков.

Математическая модель процесса описывает неопределенности, которые необходимо учитывать при принятии решений (имеются в виду как нежелательные возможности-риски, так и привлекательные – «счастливый случай»).

Расчеты проводились с использованием программы *Oracle Crystal Ball* [4] с оценкой приращения напора уровня ( $\Delta S$ , м) на основе метода Монте-Карло по критериям  $P_{10}$ ,  $P_{50}$ ,  $P_{90}$  и  $P_{mean}$ . Оценка вероятности по каждому критерию принималась исходя из принципа «менее или равно».

В рамках метода Монте-Карло при создании моделей любой фактор, которому свойственна неопределенность, заменяется диапазоном значений – распределением вероятностей. Затем выполняются многократные расчеты результатов, причем каждый раз используется другой набор случайных значений функций вероятности. Моделирование по методу Монте-Карло позволяет получить распределения значений возможных последствий.

В качестве вероятностных параметров модели использовались: мощность водоносного горизонта, коэффициент фильтрации, упругоёмкость пород водоносного горизонта. Целевой функцией являлось изменение напоров. Изменение напоров рассчитывалось по формуле Тейса (для пластов без перетекания):

$$\Delta S = \frac{Q}{4\pi T} * W\left(\frac{r^2}{4at}\right),$$

где:

$r$  – расстояние от скважины (0,073, 1000 и 3000 м);

$a$  – коэффициент пьезопроводности, м<sup>2</sup>/сек;

$T$  – водопроницаемость, м/сут;

$t$  – накопленное время эксплуатации, сутки;

$Q$  – средневременной объём закачки (отношение накопленного объёма за определённое время), м<sup>3</sup>/сут.

При использовании распределений вероятностей переменные могут иметь разные вероятности наступления разных последствий. Распределения вероятностей представляют собой гораздо более реалистичный способ описания неопределенности переменных в процессе анализа риска. Для принятых вероятностных параметров использованы следующие распределения вероятностей. При моделировании вероятностные параметры описаны с помощью нормального распределения (или «гауссовой кривой»), которое используется для описания параметра –

мощность водоносного горизонта; логнормального (описываемый параметр-коэффициент фильтрации); и треугольного, которым описана упругоёмкость пород водоносного горизонта.

Оценка значений фильтрационных и емкостных параметров геофильтрационных элементов основана на интерпретации материалов ГИС Сибирского и Шершнёвского месторождений нефти. Кроме того, в качестве базовых параметров для расчётов принимаются прогнозные объёмы закачки попутных вод, предоставленные недропользователем. Прогнозный накопленный объем с начала закачки, рассчитанный на 25 лет, равен 31429650 м<sup>3</sup>, среднесуточная закачка изменяется от 386 м<sup>3</sup>/сут., в первые годы закачки, до 6931 м<sup>3</sup>/сут в 2042-2043 годы [1].

Характеристики вероятностных параметров для Палашерского участка (схема гипотетический «бесконечный» пласт) представлены в таблице 1.

Таблица 1. Вероятностные параметры Палашерского участка

Параметры	Вероятностное распределение	Величины		
		10%	среднее	90%
m	Нормальное	4	50	97
Кф	Логнормальное	0,012	0,13	0,27
η*	Треугольное	7,1E-07	7,6E-07	8,0E-07

Результаты расчетов на период закачки рассолов с 2022 по 2046 гг. на **Палашерском участке** по программе Oracle Crystal Ball показали следующее.

В 2022 году, при длительности закачки 366 дней и среднесуточном дебите – 1863 м<sup>3</sup>, средние значения приращения пластовых давлений в эксплуатационном горизонте на Палашерском участке может составить вблизи скважины – 1250 м (рис. 1); на расстоянии 1000м – 248 м; на расстоянии 3000м – 133 м.

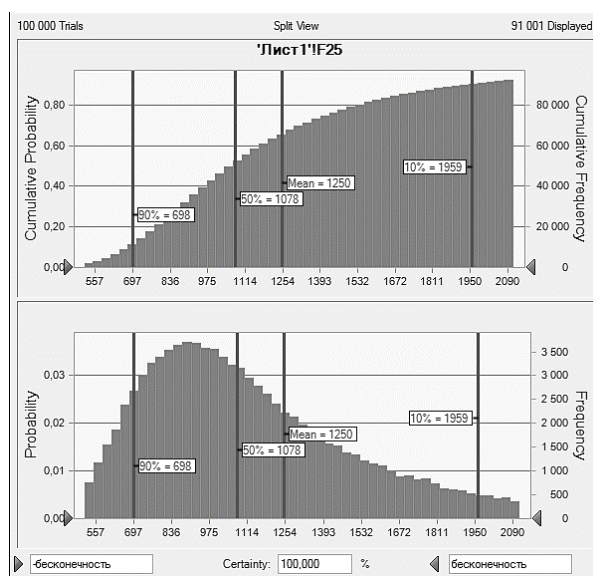


Рис. 1. Приращение напора в проектной скважине на Палашерском участке в 2022 году

При закачке рассолов с 2023 по 2034 год (продолжительность закачки 4017 дней, при среднесуточном дебите от 386 до 4843 м<sup>3</sup>/сут) средние приращения пла-

стовых напоров в эксплуатационном горизонте на участке может изменяться следующим образом: вблизи скважины от 712 м до 1239 м; на расстоянии 1000 м от 166 м до 343 м; на расстоянии 3000 м – от 100 м до 253 м.

При значительном увеличении среднесуточной закачки с 2035 по 2046 год (с 2782 м<sup>3</sup>/сут до 4843 м<sup>3</sup>/сут. и более) средние значения приращения пластовых напоров в эксплуатационном горизонте на участке будут изменяться следующим образом: вблизи скважины – от 1393 м до 2808 м; на расстоянии 1000 м от 406 м до 763 м; на расстоянии 3000 м – от 276 м до 566 м.

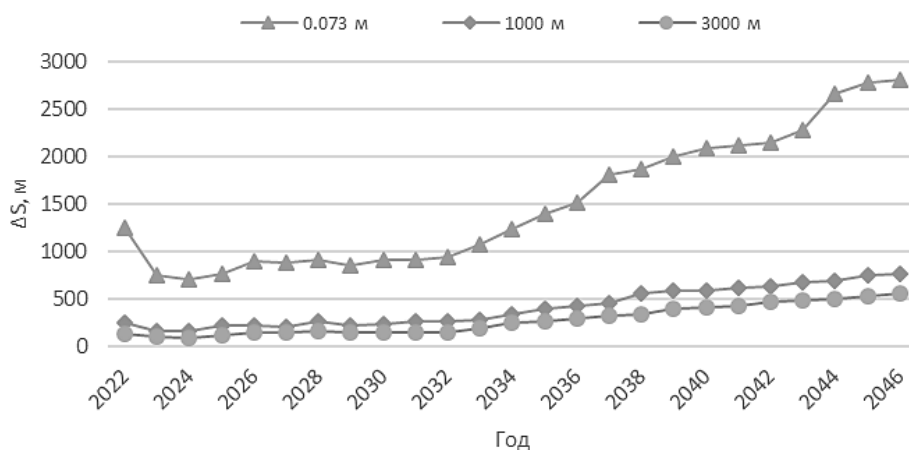


Рис. 2. Изменение средних значений приращений давлений в эксплуатационном горизонте на Палашерском участке в период 2022-2046 гг.

Анализ изменения среднего приращения напоров показал, что оптимальный средний суточный объем для закачки рассолов на Палашерском участке составляет 756-1204 м<sup>3</sup> (на рис. 2 – это участок 2024-2032 гг.). Увеличение среднесуточного объема закачки в 2033 году до 2782 м<sup>3</sup> приведет к резкому повышению приращения напоров (давлений) и, как следствие, к перегрузке прискважинной зоны эксплуатационного горизонта (рис. 2).

Для Шершневского участка принятые параметры для прогнозных расчетов по схеме – изолированный риф (R = 2300 м) в депрессионном типе разреза – приведены в таблице 2.

Таблица 2. Вероятностные параметры Шершнёвского участка

Параметры	Вероятностное распределение	Величины для «пласта-круга» R -2300 м			Величины для законтурного пространства		
		10%	среднее	90%	10%	среднее	90%
m	Нормальное	80	156	232	4	50	97
Kф	Логнормальное	2,0E-01	0,4	0,6	0,012	0,13	0,27
η*	Треугольное	6,8E-07	8,1E-07	9,5E-07	7,1E-07	7,6E-07	8,0E-07

Результаты расчетов на период закачки рассолов 2022-2046 гг. на **Шершнёвском участке** по программе Oracle Crystal Ball показали следующее.

В 2022 году приращения средних пластовых напоров (давлений) в эксплуатационном горизонте на Шершнёвском участке может составить: вблизи скважины – 179 м; на расстоянии 1000 м – 120 м; на расстоянии 3000 м – 89 м.

При закачке рассолов с 2023 по 2034 год ( $t = 4017$  дней, при среднесуточном дебите в соответствии с прогнозными объемами) средние значения приращений пластовых напоров в эксплуатационном горизонте на участке может изменяться: вблизи скважины от 107 м до 210 м; на расстоянии 1000 м от 77 м до 172 м; на расстоянии 3000 м – от 41 м до 138 м.

При значительном увеличении среднесуточной закачки с 2035 по 2046 год средние приращения пластовых напоров в эксплуатационном горизонте на участке будут изменяться следующим образом: вблизи скважины – от 240 м до 497 м; на расстоянии 1000 м – от 177 м до 464 м; на расстоянии 3000 м – от 161 м до 381 м.

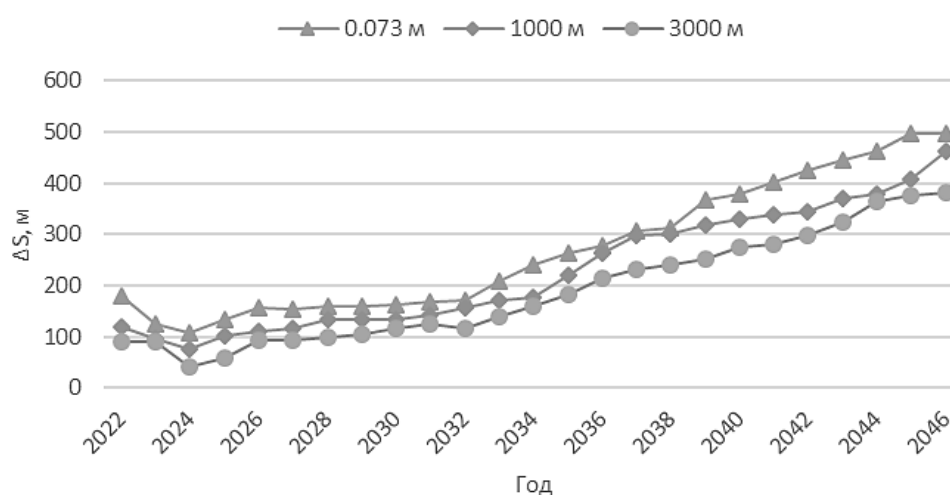


Рис. 3. Изменение средних значений приращений давлений в эксплуатационном горизонте на Шершнёвском участке 2022-2046 гг.

Анализ изменения среднего приращения напоров показал, что оптимальный среднесуточный объем для закачки рассолов на Шершнёвском участке составляет 1419-1875 м<sup>3</sup> (на рис. 3 это участок 2026-2032 гг.). Увеличение среднесуточного объема закачки в 2033 году до 2782 м<sup>3</sup> приведет к резкому повышению приращения напоров (давлений) как в прискважинной зоне, так и на расстоянии 1 км и 3 км от неё.

Вероятностные параметры для Белопашнинского участка приняты аналогично значениям Шершнёвского участка (табл. 2).

На **Белопашнинском участке** в 2022 году средние значения приращений пластовых давлений в эксплуатационном горизонте могут составить: вблизи скважины – 176 м; на расстоянии 1000 м – 150 м; на расстоянии 3000 м – 98 м.

При закачке рассолов с 2023 по 2034 год средние значения приращения пластовых давлений в эксплуатационном горизонте на участке могут изменяться следующим образом: вблизи скважины – от 133 м до 198 м; на расстоянии 1000 м – от 89 м до 194 м; на расстоянии 3000 м – от 56 м до 151 м.

При значительном увеличении среднесуточной закачки с 2035 по 2046 год (с 2782 м<sup>3</sup>/сут до 4843 м<sup>3</sup>/сут и более) средние приращения пластовых напоров (давлений) в эксплуатационном горизонте на участке будут изменяться следующим образом: вблизи скважины – от 231 м до 574 м; на расстоянии 1000 м – от 202 м до 420 м; на расстоянии 3000 м – от 154 м до 399 м.

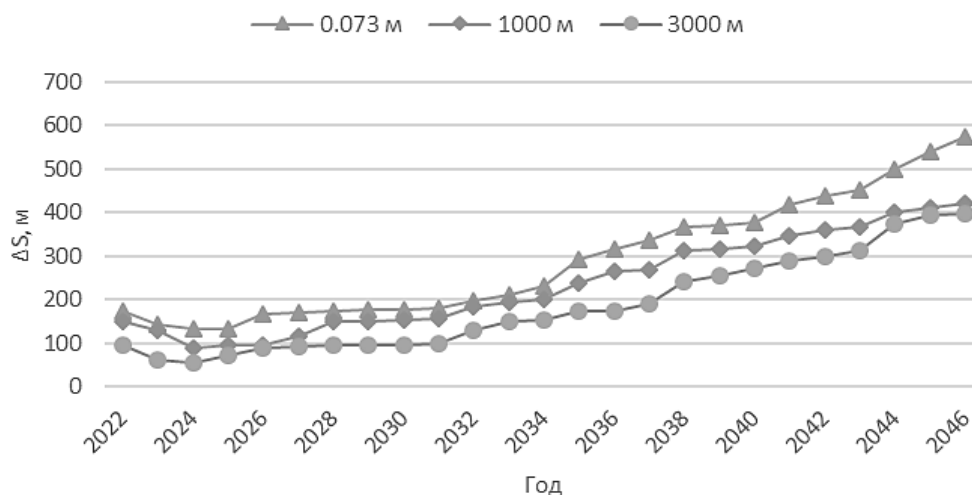


Рис. 4. Изменение средних значений приращений давлений в эксплуатационном горизонте на Белопашнинском участке в период 2022-2046 гг.

Анализ изменения среднего приращения напоров показал, что оптимальный среднесуточный объем закачки рассолов на Белопашнинском участке составляет 1419-1875 м<sup>3</sup> (на рис. 4 это участок 2026-2032 гг.). Увеличение среднесуточного объема закачки в 2034 году до 4843 м<sup>3</sup> приведет к резкому повышению приращения давлений.

Таким образом, в результате использования вероятностного моделирования получаем широкий диапазон вариаций приращений напоров в эксплуатационной толще от самых «мягких» до «жестких» в системе прямолинейного вида на любой временной срез.

Вероятностное моделирование процесса закачки рассолов показало, что у схемы 2 (изолированный риф в депрессионном типе разреза) наименее жесткие гидродинамические условия нагнетания. Результаты расчетов, выполненные для срока закачки на 25 лет (9132 суток) для Шершнёвского и Белопашнинского участков, выявили отчетливую тенденцию квазистационарной «накачки» рифогенной структуры (рис. 3,4).

#### Библиографический список

1. Гольдберг В.М., Скворцов Н.П., Лукьянчикова Л.Г. Подземное захоронение промышленных сточных вод. – М., “Недра”, 1994. – 280с.
2. Костарев С.М. Современные проблемы экологической гидрогеологии нефтегазоносных территорий Пермского края // Современная гидрогеология нефти и газа (фундаментальные и прикладные вопросы) / Материалы Всероссийской научной конференции, М.: ГЕОС. 2010. – с.462 – 468.
3. Костарев С.М., Шатов В.А., Яковлев М.Ю. Геолого-гидрогеологическое обоснование возможности закачки избыточных рассолов ООО «ЕвроХим-Усольский калийный комбинат» в поглощающие горизонты палеозойских отложений Уньвинского, Сибирского, Шершневского и им. Архангельского нефтяных месторождений // Филиал ООО “ЛУКОЙЛ-Инжиниринг” “ПермНИПИнефть” в г. Перми, отчет по дог. №15П0027/5689, 2015. – 203с.
4. Crystal Ball. Описание базовых функциональных возможностей приложения. Authors: EPM Information Development Team, 2009



## **КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ И КАЧЕСТВЕННЫЕ ПРИЗНАКИ В ПАЛЕОНТОЛОГИЧЕСКОМ ОПИСАНИИ ФЕНЕСТЕЛЛИД: ФОРМА ПРУТЬЕВ СЕТЧАТОЙ КОЛОНИИ (BRYOZOA)**

Палеонтологические описания ископаемых мшанок (Bryozoa) включают качественные и количественные признаки. Количественные признаки используют прямые измерения размера элементов строения колонии. Однако такие признаки как форма прутьев и форма зооэциев используют только вербальную характеристику. Вербальная характеристика качественных признаков не всегда позволяет отличать таксоны друг от друга и использовать их для решения задач палеонтологии, стратиграфии и др. Для описания формы волнисто изогнутых прутьев сетчатых фенестеллид предлагаются количественные параметры. Форма волнисто изогнутых прутьев описывается тремя количественными параметрами:  $f // J_M / J_B$ , где  $f$  — абсолютное боковое отклонение прута от прямой линии роста,  $J_M$  — кривизна прута в продольном сечении,  $J_B$  — кривизна прута в поперечном сечении колонии. Составлена таблица из 20 разных изображений сетки с волнистыми прутьями. Каждому изображению соответствует своя формула из трёх параметров.

**Ключевые слова:** палеонтологическое описание, признак качественный, признак количественный, классификация, прутья изогнутые, колония сетчатая.

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

## **QUANTITATIVE AND QUALITATIVE SIGNS IN THE PALEONTOLOGICAL DESCRIPTION OF FENESTELLIDA: FORM OF RODS IN THE MESH COLONY (BRYOZOA)**

Paleontological descriptions Bryozoa include qualitative and quantitative signs. Quantitative signs use direct measurements of the size of elements of a structure of a colony. However such signs as a form of rods and a form zooecia use only the verbal characteristic. The verbal characteristic of qualitative signs not always allows to distinguish taxons from each other and to use them for the solution of problems of paleontology and stratigraphy. For the description of a form of wavy curved rods mesh of fenestellida quantitative parameters are offered. The form of wavy curved rods is described by three quantitative parameters:  $f // J_M // J_B$ , where  $f$  – an absolute lateral deviation of a rod from a straight line of growth,  $J_M$  – curvature of a rod in the longitudinal section,  $J_B$  – curvature of a rod in the cross section of a colony.

**Keywords:** paleontological description, sign qualitative, sign quantitative, classification, rods curved, colony mesh. The table with 20 different images of a grid with wavy rods is made. To each image there corresponds the formula with from three parameters.

Измеряй всё доступное измерению  
и делай недоступное измерению доступ-  
ным. /Галилей/

Классические палеонтологические описания формы волнисто изогнутых прутьев сетчатых мшанок *Fenestellida* допускало только их вербальную характеристику [1, 2]. Эта характеристика может быть в различной степени детальной. Например, волнисто изогнутые прутья могут быть описаны как слабо волнисто изогнутые, волнисто изогнутые, сильно волнисто изогнутые и т.д. Форма прутьев в колониях фенестеллид является таксономическим признаком, служит для диагностики рода и вида. Вербальная характеристика признаков затрудняет установление таксономической принадлежности ископаемых.

Можно выделить несколько уровней организации строения скелета в палеонтологическом описании ископаемых. Формы сохранности ископаемых могут быть разные. Сохранность ископаемых и детальность их описания влияет на результаты определения систематической принадлежности таксонов. Это в свою очередь влияет на решение задач палеонтологии, стратиграфии, палеогеографии, других геологических задач [4, 5, 12].

При палеонтологическом описании строения фенестеллид можно выделить несколько уровней строения колоний, каждый из которых имеет свои особенности описания: 1) структура скелета колонии в целом; 2) структура ритмических элементов колонии (петли, перекладки и т.д.); 3) зооеции (расположение, размеры, форма и др.); 4) система капилляров, килевые бугорки (расположение, размеры).

Каждый из структурных уровней организации колонии может быть охарактеризован не только вербальными формами классического палеонтологического описания, но и с помощью количественных параметров [3,6,7,8].

Количественные параметры конкретизируют палеонтологическое описание таксонов, в данном случае, сетчатых мшанок с волнисто изогнутыми прутьями. Описание так называемых «качественных» признаков формы волнисто изогнутых прутьев колонии неизбежно сопровождается ситуацией софизма древних греков о «куче зерна», описанной Эмилем Борелем [5].

Кривизну волнистых прутьев в сетчатой колонии опишем тремя параметрами формы волнистых прутьев. Форма представления параметров кривизны аналогична параметрам формулы основных размеров сетчатых мшанок, предложенной В.П. Нехорошевым и А.И. Никифоровой. Запишем три параметра кривизны прутьев (рис. 1): где  $f$  — абсолютное боковое отклонение прута от прямой линии роста;  $J_M$  = кривизна прута в продольном сечении;  $J_B$  = кривизна прута в поперечном сечении колонии.

Коэффициент абсолютного бокового отклонения прута от прямой линии роста измеряется в мкм (или в мм). Коэффициент кривизны прута в продольном сечении и коэффициент кривизны прута в поперечном сечении колонии — это безразмерные величины.

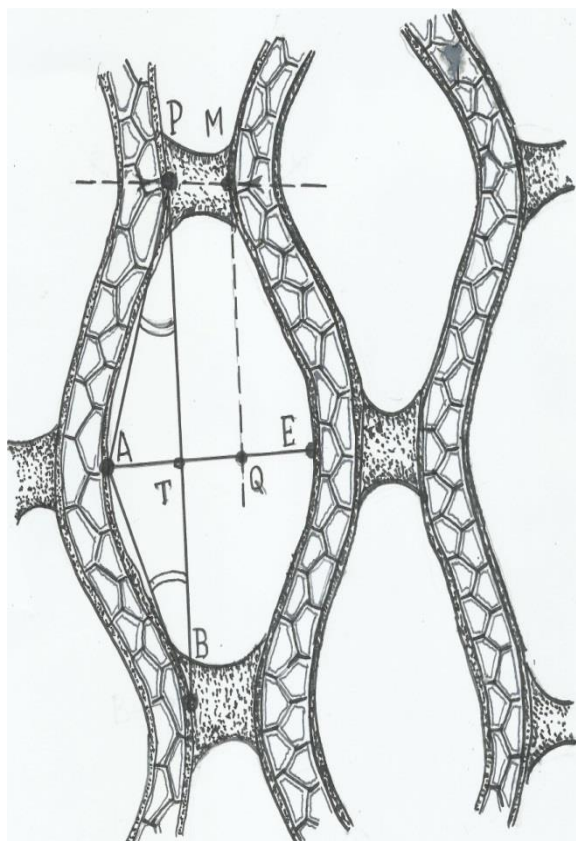


Рис. 1. Схема измерения параметров кривизны прутьев и вычисления коэффициентов кривизны волнисто изогнутых прутьев в тангенциальном сечении колонии

Формула параметров кривизны волнисто изогнутых прутьев записывается в виде трёх параметров, характеризующих кривизну прутьев:

$/f // J_M / J_B /$  где,

$f$  — абсолютное боковое отклонение изогнутого прута от прямого направления (мм, мкм);

$J_M$  — коэффициент кривизны продольного ритма (или коэффициент оценки кривизны прута в продольном ритме),

$$J_M = \frac{AT}{BT} = \operatorname{tg} \alpha = \operatorname{tg} ABT;$$

$J_B$  — коэффициент кривизны поперечного ритма (или коэффициент оценки кривизны прута в поперечном ритме), численно равен отношению абсолютного бокового отклонения (AT) к сумме абсолютного бокового отклонения длины анастомоза (AT + TQ).

При изменении формы прута от прямого до формы полуокружности на длине петли (или до положения, при котором  $BT = AT$ )

$J_B$  — коэффициент кривизны поперечного ритма (или коэффициент оценки кривизны прута в поперечном ритме), численно равен отношению абсолютного бокового отклонения (AT) к сумме абсолютного бокового отклонения длины анастомоза (AT + TQ).

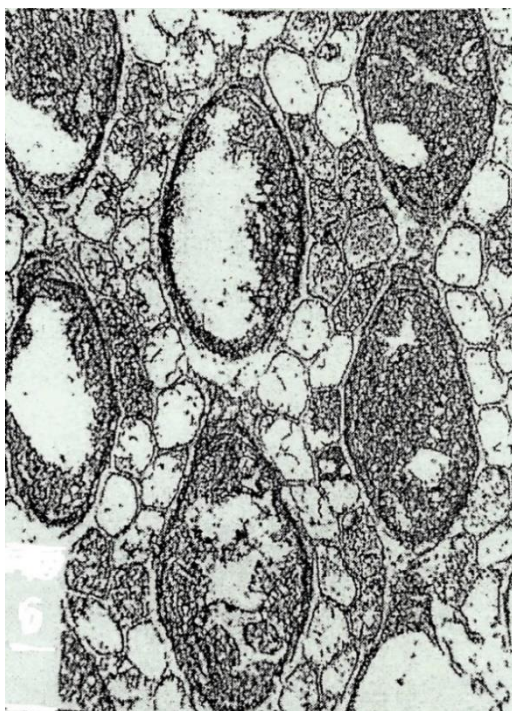


Рис. 2. *Flexifenestella eichwaldi* (Stukenberg, 1885). Среднее Приуралье; Ненастная площадь, скв. 8991, гл. 200,3 м, Пешковский профиль, скв. 9781, гл. 201,5 м. Номера образцов 2/463, 2/654. Тангенциальное сечение,  $\times 20$ . нижняя пермь, артинский ярус. Основные размеры: 9,0–10,0/4,5–5,0/13,2–14,2 [8, 9, 10, 11]. Формула кривизны прутьев: 280–350// 0,27–0,34 / 0,58–0,66 /.



Рис. 3. *Flexifenestella magnopora* (Schulga-Nesterenko, 1941). Северное Приуралье, Чудовская площадь, скв. 8369, гл. 435,0 м. Номер образца 2/417. Нижний приуральский отдел пермской системы, артинский ярус. Основные размеры: 7,8 – 8,4/ 8,0 – 8,5// 10,8 – 11,1 / [8, 9, 10, 11]. Параметры кривизны прутьев: 570// 0,44/0,67.



Таблица 1. Соответствие параметров формулы кривизны прутьев и конфигурации петель в тангенциальном сечении сетчатой колонии

4	$0 // 0 / 0$	$4 // 0,11 / 0,20$	$10 // 0,29 / 0,50$	$4 // 0,11 / 0,44$	$10 // 0,29 / 1,0$
3	$0 // 0 / 0$	$4 // 0,20 / 0,20$	$10 // 0,50 / 0,50$	$4 // 0,20 / 0,44$	$10 // 0,50 / 1,0$
2	$0 // 0 / 0$	$4 // 0,32 / 0,20$	$10 // 0,80 / 0,50$	$4 // 0,32 / 0,44$	$10 // 0,80 / 1,0$
1	$0 // 0 / 0$	$4 // 0,53 / 0,20$	$10 // 1,30 / 0,50$	$4 // 0,53 / 0,44$	$10 // 1,30 / 1,0$
	1	2	3	4	5

### Библиографический список

1. Горюнова Р.В. Пермские мшанки Памира. М.: Наука, 1975. – 127 с.
2. Морозова И.П. Ревизия рода *Fenestella* // Палеонтологический журнал. 1974. №2. С. 54 – 67.
3. Никифорова А.И. Стратиграфическое распределение мшанок в нефтеносных рифовых известняках Ишимбаевского месторождения: Труды ИГРИ, 1938, серия А, вып. 101. С. 76 – 89.
4. Общая стратиграфия. Избранные стратиграфические схемы: справ.-метод. пособие / сост. В.П.Ожгибесов; Перм. гос. нац. исслед. ун-т. –Пермь, 2019. – 32 с.
5. Ожгибесов В.П. К ритмографии флексифенестелл (Bryozoa) // Вестник Перм. ун-та. Науч. журн.. Вып.3. Геология. – Пермь: Изд-во Перм. ун-та, 2001. С. 94-103.
6. Тризна В.Б. К характеристике рифовых и слоистых фаций центральной части Уфимского плато // Тр. ВНИГРИ, Н.С., 1950. С. 47 – 144.

7. *Штукенберг А.А.* Кораллы и мшанки каменноугольных отложений Урала и Тимана // Тр. Геол. Ком., 1895, т. 10, вып. 3. – 244 с.
8. *Шульга-Нестеренко М.И.* Класс Вгyозoa. Мшанки. – В кн.: Атлас руководящих форм ископаемых фаун СССР: Пермская система. Л.-М.: ГОНТИ, 1939, т. 6. С. 64 – 75.
9. *Шульга-Нестеренко М.И.* Нижнепермские мшанки Урала, М.-Л., Изд-во АН СССР, 1941. – 276 с.
10. *International Chronostrat Chart*, 2020-03.
11. *Stratigrafic Code of Russia*. 4 edition. SPb. VSEGEI Press. 2019. – 96p. (Interdepartmental Stratigraphic Committee).



## **ФОТОГРАФИЯ МОНОГРАФИЧЕСКИХ КОЛЛЕКЦИЙ ПАЛЕОЗОЙСКИХ BRYOZOA**

Важным компонентом сравнительного анализа мшанок являются фотографии ориентированных шлифов. Для сравнения изображений на фотографиях эти фотографии должны быть выполнены в одинаковых масштабах и содержать отрезок единичной длины, обеспечивающий быстрое парное и множественное сравнение увеличенных изображений. Выполнен анализ существующей практики использования различных масштабов фотографий на таблицах при описании видов. На основе унифицированной методики выбраны два ряда масштабов: ряд стандартных масштабов увеличения (1, 10, 40, 100) и вспомогательных масштабов (4, 20, 80, 200, 400). Приведено описание оригинального устройства для маркировки кадров фотосъёмки номерами шлифов из монографической коллекции.

**Ключевые слова:** фотография, стандартизация, ориентированные шлифы, масштабы стандартные, масштабы вспомогательные, сравнительный анализ, специальное устройство, маркиратор.

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

## **PHOTOGRAPH OF MONOGRAPHIC COLLECTIONS OF PALEOZOIC BRYOZOA**

An important component of comparative analysis of bryophytes is photographs of oriented thin sections. For comparison of images on photos, these photos should be made in the same scales and contain a segment of unit length, providing a rapid pairwise and multiple comparison of enlarged images. The analysis of existing practice of using different scales of photos on tables when describing species was carried out. Based on a unified methodology, two series of scales have been selected: a series of standard magnification scales (1, 10, 40, 100) and auxiliary scales (4, 20, 80, 200, 400). A description is given of the original device for marking frames of photography with numbers of splines from the monographic collection.

**Key words:** photography, standardization, oriented thin sections, standard scales, auxiliary scales, comparative analysis, special device, marker.

Расшлифованный каменный материал по буровым скважинам или обнажениям сравнивается с опубликованными сведениями об ископаемой фауне палеозойских мшанок. Эти сведения оформляются в виде перфокартотеки справочника-определителя на перфокартах ручного обращения. Перфокарты с изображениями ориентированных шлифов фауны, вербальными и количественными описаниями диагностических признаков сканируются и сохраняются в памяти компьютера. Сканированные изображения перфокарт также могут использоваться в качестве сравнительного материала. Однако перфокарты часто удобнее для анализа, так как позволяют одновременно использовать для сравнения количественных параметров в ранжированных рядах количественных параметров и рядов изображений на нескольких десятках перфокарт.

Важным компонентом сравнительного анализа являются фотографии ориентированных шлифов мшанок. Для сравнения фотографий они должны быть выполнены в одинаковых масштабах, так как общие очертания структуры колоний часто похожи.

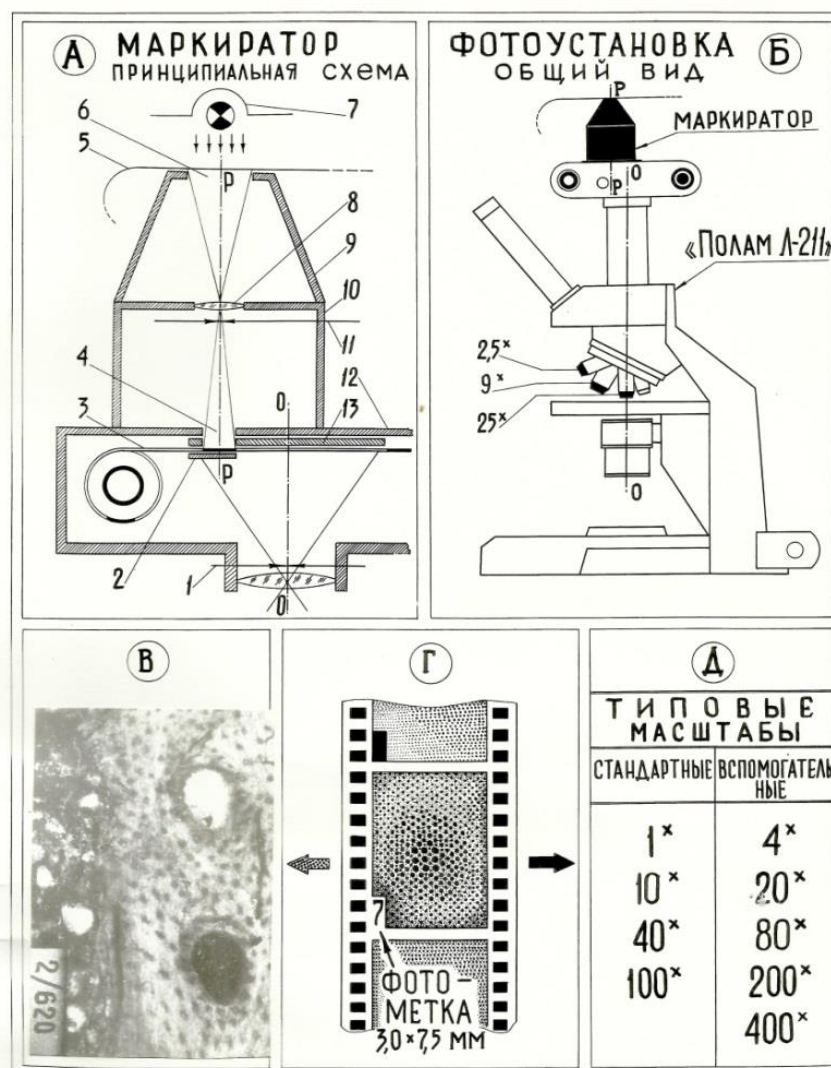


Рис. 1. Приспособления и элементы методики микрофотографии палеозойских мшанок. А – схема фотомаркиратора кадров на негативной плёнке; Б – Фотоустановка, общий вид; крепление маркиратора на микроскопе; В – маркировка позитива; Г – маркировка негатива; Д – типовые масштабы отображения шлифов мшанок

Анализ масштабов фотографий в ранее опубликованных монографиях показывает, что строго постоянных и общепринятых масштабов фотографий нет. Общее количество выбранных масштабов фотографий колеблется от 11 до 44. Такое положение было характерно для публикаций прошлого столетия [1, 2]. Позже количество масштабов фотографий в фототаблицах уменьшается до четырёх – пяти, однако выбор масштабов по-прежнему не регламентирован.

Известны таблицы, в которых масштабы микрофотографий изменяются ступенчато и закономерно от единицы до 1250 и образуют закономерный ряд, любой член которого может быть определён по формуле [3]

$$M = 10^{0.1n},$$

где М – масштаб микрофотографий,  
 $n = 0, 1, 2, 3, \dots$

Масштабы из этого ряда рекомендуется выбирать при составлении перфокартотек справочника-определителя и картотеки фактического материала. Одинаковые масштабы позволяют легче проводить не только парные сравнения, но и анализировать тренды в упорядоченных рядах.

Требования к стандартизации должны быть согласованы с техническими возможностями микрофотосъёмки ископаемых мшанок. Такая методика разработана и успешно применена на основе тринокулярного микроскопа Полам Л-211. Конструкция этого микроскопа дополнена авторской приставкой-фотомаркиратором (рис. 1А, 1Б). Схема устройства показана на рис. 1А. Лампочка 7 освещает окно 5 в верхней части приспособления. В плоскости окна 6 размещается текст, который необходимо напечатать в углу 4 кадра с изображением объекта съёмки 13. Через центральную часть кадра 24х32 мм оптическая ось О–О фотокамеры и микроскопа. Оптическая ось приставки-фотомаркиратора Р–Р проходит через центральную часть объектива фотокамеры-маркиратора и центральную часть проектируемого окна 6 и площадки для впечатывания в кадр номера объекта съёмки. В нашем случае маркиратор собран из деталей фотокамеры «Зоркий» и малоформатного фотоаппарата «Киев-Вега». Фотосъёмка осуществляется на фотоплёнке «Микрат-200». Используемая методика полностью исключала путаницу при обработке и документировании больших массивов фотографий при монографической обработке коллекций ориентированных шлифов мшанок.

Современные методы цифровой обработки и документирования коллекций каменного материала позволяют существенно усовершенствовать этот процесс и исключить из него необходимость проявлять фотоплёнку и фотобумагу. Однако принципиальная схема нанесения номера шлифа и отрезка единичной длины для масштаба на каждый кадр остаётся прежними. При использовании объектива микроскопа 2,5х длина единичного отрезка в кадре равна одному миллиметру. В остальных случаях необходимо контролировать масштабы увеличения и длину единичных отрезков в поле кадра с помощью объект-микрометра.

Описанное устройство и методика его использования успешно применялись при монографической обработке коллекций палеозойских мшанок из буровых скважин и обнажений территории Приуралья.

#### **Библиографический список**

1. Морозова И.П. Fenestellida (морфология, система, филогения, историческое развитие). – М., ГЕОС, 2001. – 177 с. (Тр. ПИН РАН, Т. 277).
2. Никифорова А.И. Типы каменноугольных мшанок Европейской части СССР. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1938. – 288 с.
3. Bergner J., Gelbke E., Mehlig E. Praktische microfotografie. Leipzig, 1975 – 320p.

## **УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ РЕЗЕРВУАРОВ ТАНГАЛОВСКОЙ СВИТЫ НИЖНЕГО ОТДЕЛА МЕЛОВОЙ СИСТЕМЫ АРКА-ЯХСКОГО НЕФТЕГАЗОКОНДЕНСАТНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ**

Данная работа направлена на анализ условий формирования резервуаров на Арка-Яхском месторождении. Установлено, что пласты образовывались в прибрежно-морской литоральной зоне. С помощью материалов ГИС и методики В.С. Муромцева выявлена фациальная принадлежность пластов-коллекторов.

**Ключевые слова:** коллектор, покрывка, Западно-Сибирская провинция, тангаловская, свита, фации.

**O.E. Kochneva, D.V. Potapov**  
Perm State University, kochnevae@mail.ru

## **CONDITIONS FOR THE FORMATION OF RESERVOIRS OF THE TANGALOVSKAYA FORMATION OF THE LOWER DEPARTMENT OF THE CRETACEOUS SYSTEM OF THE ARKA-YAKHSKOYE OIL AND GAS CONDENSATE FIELD**

This work is aimed at analyzing the conditions for the formation of reservoirs at the Arka-Yakhskoeye field. It is established that the layers were formed in the coastal-marine littoral zone. With the help of GIS materials and V.S. Muromtsev, the facies belonging of the reservoirs was revealed.

**Keywords:** reservoir, overlying seal, West Siberian province, Tangalovskaya, suite, facies.

Западно-Сибирская провинция – это крупнейший регион России по добыче нефти и газа. Одним из перспективных месторождений является Арка-Яхское нефтегазоконденсатное, которое находится в Мессовском районе, в Гыданской НГО. Арка-Яхское месторождение открыто в 1986 г. в результате бурения и испытания скважины №1001.

В строении месторождения участвуют палеозойские и мезозойско-кайнозойские образования, слагающие складчатое (доюрское) основание и осадочный чехол.

Начало формирования отложений осадочного чехла в пределах месторождения связано с раннеюрским этапом тектонического развития Западно-Сибирской плиты.

Территория месторождения со времен юрского периода испытывала существенные тектонические изменения

В юрский период территория Арка-Яхского НГМ принадлежала структуре I-порядка Гыдан-Пур-Тазовской палеомегасинеклизе. Происходило существенное накопление осадков. В неокомское время в результате процессов воздымания, формируется Мессояхский палеомегавал. В альб-сеноманское время территория

испытывает интенсивное погружение. Происходит трансформация Ямальской палеомоноклизы в Ямало-Гыданскую палеомегасинеклизу и далее в Ямал-Гыдан-Обь-Тазовскую палеомегасинеклизу, которая в турон-сантонское время за счет высокой активности переходит в Ямало-Гыданскую палеомегантеклизу, а территория месторождения вновь является частью Мессояхского палеомегавала [2].

В современном тектоническом смысле Арка-Яхское месторождение расположено в пределах структуры II порядка – Парусового малового вала, который входит в состав крупной структуры I порядка – Мессояхского пояса мегавалов в его западной части.

Парусовый вал граничит на востоке с Верхнехейпаетским малым прогибом, а на западе с Восточно-Каменномысской седловиной. К югу от вала находится Парусный малый прогиб, сочлененный со структурным мысом. На севере Парусовый вал граничит с Адер-Паютинским малым валом. Северо-западный склон вала уходит в Чугорьяхинский малый прогиб. Наиболее крупной соседней с Парусовым валом структурой является Ямбургское куполовидное поднятие. Все перечисленные структуры входят в состав регионального надпорядкового тектонического элемента – Надым–Тазовской синеклизы.

Площадь находится в зоне активной разломной тектоники. Крупные разрывные нарушения, выделяемые на региональной тектонической схеме, приурочены к самому Парусовому валу и Адерпаютинскому валу. По поверхности верхнеюрского комплекса Парусовое поднятие как самостоятельная структура ограничивается изогипсой минус 3520 м. При этом его амплитуда составляет около 250 м. В пределах структуры выделяются пять локальных поднятий [2].

По литологическим характеристикам пластов-коллекторов тангаловской свиты можно сделать вывод, что условия для формирования осадков были морские. Это подтверждается наличием алевролитовых пропластков, а также органических останков фораминифер и двустворок.

Песчаный состав отложений с прослоями аргиллитов, хорошая отсортированность обломков, косая и волнистая слоистость, осложненная размывами и завихрениями, следы взмучивания, присутствие в породе линзовидных угольных тел, растительного детрита и остатков водорослей говорят о том, что отложения формировались в литоральной зоне морского бассейна, а комплекс фаций был прибрежно-морской [1].

Отложения морского генезиса слагают продуктивные горизонты во многих нефтегазоносных бассейнах. Наибольший интерес для поиска углеводородных залежей представляют осадки прибрежно-морского комплекса фаций, поскольку именно в прибрежной части моря формируются многочисленные аккумулятивные песчаные тела, имеющие большую мощность и протяженность и способные аккумулировать значительные скопления углеводородов.

В этом комплексе выделяются следующие группы:

- 1) Группа фаций вдольбереговых баров и вдольбереговых промоин;
- 2) Группа фаций разрывных течений;
- 3) Группа фаций устьевых баров, пляжей, приморских болот и лугов;
- 4) Группа фаций мелководного шельфа [3].

Для проведения детальных палеографических реконструкций и для выявления фациальной принадлежности песчаных отложений требуется проведение в больших объемах комплексных литологических исследований, для которых необходимым условием является наличие значительного количества кернового материала. Однако повышение отбора керна ведет к резкому удорожанию бурения и к общему снижению эффективности геологоразведочных работ. Решением данной проблемы является вовлечение в этот процесс промыслово-геофизических исследований.

Наиболее информативными промыслово-геофизическими методами для получения литологической информации при исследовании песчаных отложений являются методы самопроизвольной поляризации (ПС) и естественной гамма-активности (ГК).

Метод потенциалов самопроизвольной поляризации регистрирует естественные электрические поля в скважине. Эти естественные электрические поля фиксируются электродом при его перемещении в необсаженном стволе скважины и записываются в виде кривой, на которой могут быть выделены глинистые породы и песчаные породы-коллекторы.

У кривых ПС нет нулевой линии, а в качестве нуля выбирают положение, соответствующее максимальному положительному отклонению – линию глин. Отсчет берут справа налево. Следовательно, амплитуда ПС в чистых глинах равна нулю, а максимальная амплитуда соответствует чистым песчаным пластам. Амплитуда ПС ( $A_{ПС}$ ) – это отношение значений кривой ПС, изучаемого пласта к ее максимуму.

Участки кривой ПС, на которых преобладают наибольшие отрицательные или положительные отклонения, выделяются соответственно под названием отрицательных или положительных аномалий. Линия  $A_{ПС\ 0,5}$  – разделительная между песчаными и алевроито-глинистыми породами.

Используя электрометрические характеристики пород, и в частности значения  $A_{ПС}$ , соответствующие определенным палеогидродинамическим режимам седиментации и седиментологические модели фаций, показывающие смену этих уровней во времени, можно построить электрометрическую модель фации.

Электрометрическая модель фации – это отрезок кривой ПС, образованный одной или несколькими аномалиями, увязанными с граничными значениями  $A_{ПС}$  и отражающими изменения литофизических свойств пород, обусловленные характерной последовательностью смены палеогидродинамических уровней среды седиментации во времени.

В.С. Муромцев в ходе своих исследований установил, что для каждой фации характерна особая, только ей свойственная форма аномалий кривой ПС [3].

Для морских обстановок осадконакопления электрометрические модели фаций представлены на рисунке 1.



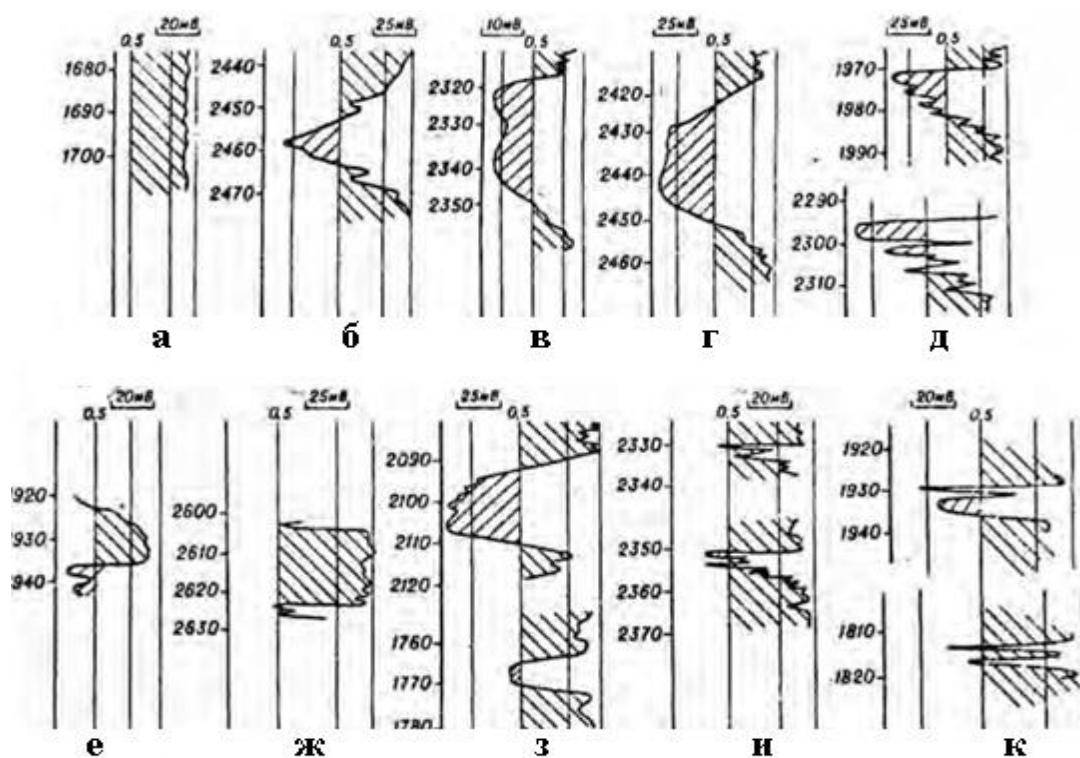


Рис. 1. Электрометрические модели фаций морского бассейна. а) открытого моря с накоплением глинистых отложений; б) головных частей разрывных течений; в) барьерных островов; г) устьевых баров; д) вдольбереговых регрессивных баров; е) забаровых лагун; ж) морских заливов и бухт; з) промоин разрывных течений; и) прибрежных валов; к) пляжей. (В.С. Муромцев, 1984)

Кроме метода собственных потенциалов данные об изменении литологического состава пород можно получить с помощью метода естественной гамма-активности (ГК).

Гамма-каротаж позволяет уточнять и коррелировать характер изменений литологического состава пород, устанавливаемый по кривой ПС для определения фациальной породы осадка. Также метод дает возможность самостоятельно получать данные о литологическом составе пород в случаях, когда метод ПС вообще не может быть использован.

Таким образом, с помощью промыслово-геофизических данных метода самопроизвольной поляризации, используя электрометрические модели В.С. Муромцева можно установить фациальную принадлежность песчаных пластов исследуемой территории.

Геофизические параметры пластов тангаловской свиты получены по трем скважинам в пределах месторождения: № 1001, 1004, 1005. В работе рассмотрим для примера только скв. № 1004 (рис.2).

На основании методов ГК, КС, ПС, ИК произведена интерпретация данных, которая позволила: скоррелировать пласты БУ<sub>1</sub>, БУ<sub>2</sub>, БУ<sub>3</sub> по глубине; литологически расчленить пласты и выявить потенциальные песчаные тела. По результатам опробования получены следующие данные: в скважине № 1004 из пласта БУ<sub>1</sub> получены признаки нефтеносности в виде пленки нефти; в скважине № 1005 из пласта БУ<sub>2</sub> получен приток газа дебитом 10,23 тыс. м<sup>3</sup>/сут; в скважине № 1001 из пласта БУ<sub>3</sub> не переливающийся приток нефти дебитом 12,22 м<sup>3</sup>/сут.

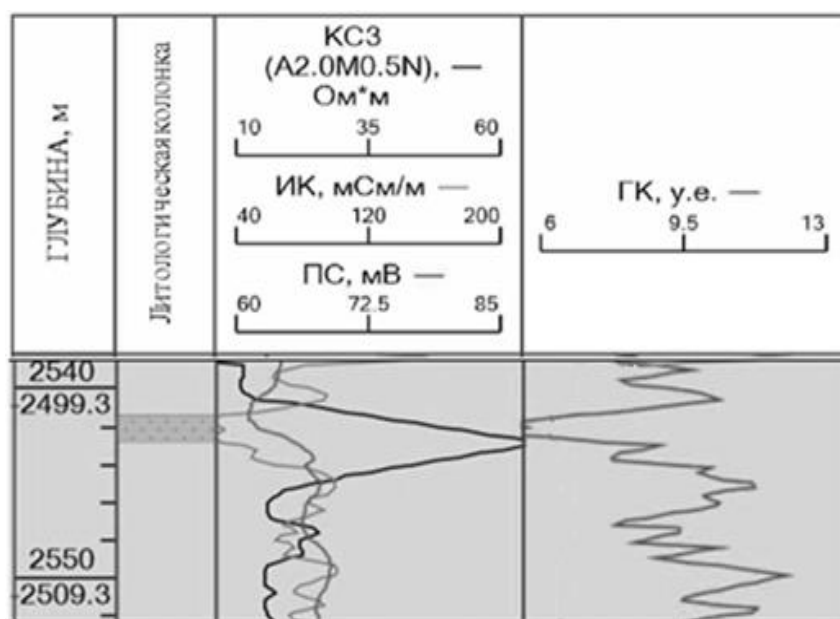


Рис. 2. ПС в скважине 1004 для пласта БУ<sub>1</sub>.

Сопоставив полученную в результате проведения ГИС в скважине № 1004 кривую ПС в пласте БУ<sub>1</sub> с теоретическими электрометрическими моделями В.С. Муромцева было найдено соответствие фактического материала с моделью фации промоин разрывных течений. Методика В.С. Муромцева широко применяется при поиске литологических ловушек нефти и газа неантиклинального типа [3]. Она позволяет выделить песчаные тела в разрезе; установить их фациальную природу и пространственное размещение; выявить закономерности формирования песчаных отложений и спрогнозировать типы фаций. Забаровые лагуны в период штормов могут заполняться морской водой или пресной, которая стекает с суши – так образуются разрывные течения. Эти избыточные воды прорывают песчаное тело бара, устремляясь в открытое море. На дне лагун и во вдольбереговых барах разрывные течения создают промоины. Морские воды могут проникать в эти промоины в период приливов, а в период отливов воды устремляются в противоположном направлении. Разрывные течения переносят обломочный материал, который образует песчаные тела, заполняя промоины.

Сопоставив полученную в результате проведения ГИС в скважине № 1005 кривую ПС в пласте БУ<sub>2</sub> с теоретическими электрометрическими моделями В.С. Муромцева было найдено соответствие с моделью фации вдоль береговых баров (трансгрессивных) и прибрежных валов.

Модель формирования вдоль береговых трансгрессивных баров и прибрежных валов характеризуется тем, что начальный этап их образования связан с высокой динамикой водной среды, обусловившей накопление относительно грубозернистых осадков. По мере развития трансгрессии моря и углубления бассейна происходит снижение гидродинамической активности и отложение тонкозернистых и глинистых осадков [2].

Сопоставив полученную в результате проведения ГИС в скважине № 1001 кривую ПС в пласте БУ<sub>3</sub> с теоретическими электрометрическими моделями В.С. Муромцева было найдено соответствие с моделью фации барьерных островов.

Барьерные баровые острова представляют собой отдельные бары или несколько наложенных друг на друга баровых гряд, вышедших на поверхность в виде островов. Прибрежные части этих островов могли подвергаться перемыву или намыву осадков. Обломочный материал хорошо сортируется и накапливается вдоль береговой линии островов под действием прибойных волн. При переходе от регрессии к трансгрессии, на участках стабилизации береговой линии возникают наиболее благоприятные условия для формирования барьерных островов.

Резервуар представлен отложениями неравномерно чередующихся песчаников светло-серых, преимущественно мелкозернистых до среднезернистых, алевролитов, серых слюдистых и аргиллитов темно-серых, плотных, слюдистых. Слоистость чаще горизонтальная, реже косоволнистая, линзовидная.

Песчаники резервуара относятся к мелкозернистым разностям, с преобладающим размером зерен 0,10-0,22 мм. Примесь алевритовой фракции 10-25%, местами 35%. Преобладающий размер зерен в алевролитах 0,05-0,09 мм, песчаной примеси до 15%, в крупнозернистых алевролитах до 35-40 % .

Установлены обстановки осадконакопления песчаных пластов тангаловской свиты с помощью анализа результатов исследования кернового материала. Выявлено, что пласты образовывались в прибрежно-морской литоральной зоне. С помощью материалов ГИС и методики В.С. Муромцева выявлена фациальная принадлежность пластов-коллекторов. Установлены условия формирования и накопления терригенного материала в пределах резервуаров.

#### **Библиографический список**

1. *Алексеев В.П.* Литолого-фациальный анализ/В.П. Алексеев // – Екатеринбург, 2002. 147 с.
2. *Кислухин И.В.* Особенности геологического строения и нефтегазоносность юрско-неокомских отложений полуострова Ямал / И.В. Кислухин; под ред. И.И. Нестерова. – Тюмень: ТюмГНГУ, 2012. 116 с.
3. *Муромцев В.С.* Электрометрическая геология песчаных тел – ловушек нефти и газа/ В.С. Муромцев // – Л.: Недра, 1984. 260 с.

## ИНФОРМАТИВНОСТЬ ПЕРИЛЕНОВ В БИТУМОИДАХ ПОРОД И НЕФТЯХ

В статье приведены общие сведения об ароматическом УВ – перилене. Рассмотрены происхождение, наибольшая встречаемость в осадках и связь между концентрацией пигмента в нефтях. Также описаны методы исследования периленовых УВ в битумоидах пород и нефтях. Сделаны краткие выводы.

**Ключевые слова:** информативность, перилены, нефть, битумоиды пород.

**O.V. Naborshchikova**  
Perm State University, olyanab1990@mail.ru

## INFORMATION CONTENT OF PERYLENES IN BITUMOIDS OF ROCKS AND OILS

The article provides general information about aromatic hydrocarbons – perylene. The origin, the highest occurrence in sediments, and the relationship between the pigment concentration in oils are considered. Methods for studying perylene hydrocarbons in bitumoids of rocks and oils are also described. Brief conclusions are made.

**Keywords:** information, perylenes, oil, bitumoids of rocks.

Среди полициклических ароматических УВ (ПАУ), имеющих 4 и более ароматических кольца и присутствующих в нефтях и РОВ в очень малых количествах, выделяется легко идентифицируемый и самый распространенный пентациклический ароматический УВ – перилен. Этот пигмент относится к аренам, на рисунке 1 представлены химические формулы некоторых представителей этой группы.

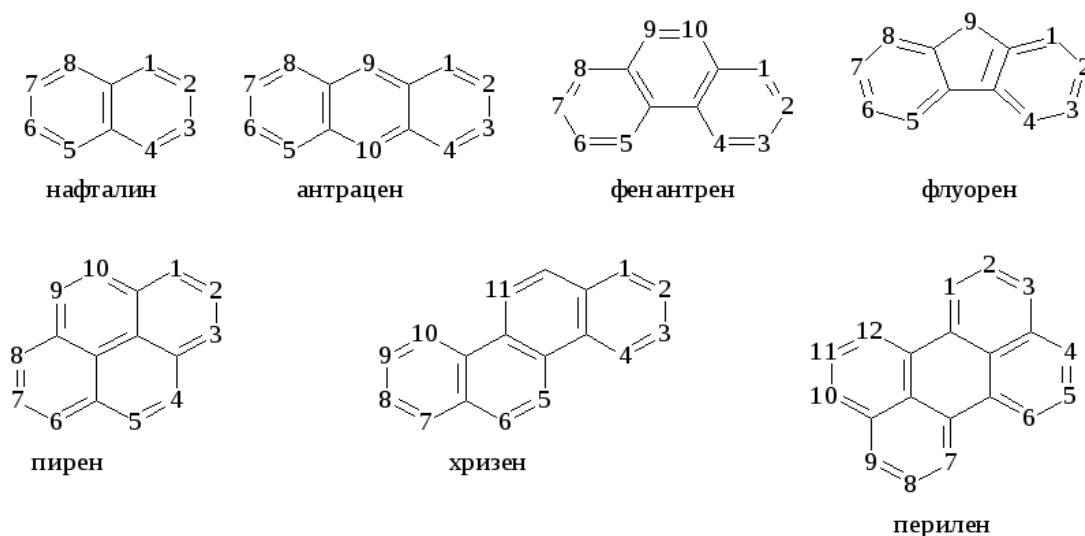


Рис. 2. Химические формулы некоторых аренов, в частности перилена

До сих пор остается спорным вопрос о происхождении перилена, что негативно влияет на использование данных о периленовых углеводородах в геохимии [1]. Одни авторы считают, что перилен образовался из хиноновых пигментов, другие предполагают, что он, обнаруженный в ряде континентальных третичных отложений, образовался из бициклических соединений, широко представленных в ОВ растительного и животного происхождения.

Перилен образуется в наибольших количествах в озерных и лагунных осадках, накапливавшихся в бескислородных условиях. Наличие этого пигмента указывает на мелководность бассейна седиментации и близость береговой линии, также на кероген I типа.

Было доказано, что при высоком содержании в нефтях серы и ванадиловых порфиринов перилены отсутствуют, а в образцах, не содержащих металлопорфирины, наоборот, перилены содержатся в наибольших концентрациях. Не прослеживается связь между концентрацией периленов в нефтях и типом исходного ОВ.

Было ранее описано в работе [4], что с глубиной происходит увеличение концентрации перилена. Количество перилена не коррелирует с отношениями н-алканов, характеризующими вклады в ОВ терригенной и водной составляющей. Очевидно, что перилен может образовываться как из водного, так и терригенного органического материала, что может быть следствием антропогенного и климатологического происхождения перилена в осадках. Перилен скорее является индикатором условий осадконакопления, а не источником ОВ.

Для геохимического исследования РОВ и нефтей использован комплексный подход, включающий различные методы исследования. На рис. 2 приведена общая схема исследования образцов нефтей и РОВ пород.

Для выделения хлороформного битумоида наиболее распространен сокращенный вариант – извлечение битумоида хлороформом, обработка породы 10 %-ной НС1 и извлечение всех кислых битумоидов спиртобензолом. Непосредственно из дробленной породы извлекается «свободный» битумоид А – хлороформный (ХБ) и спиртобензольный (ДСББ); после обработки породы 10 %-ной НС1 – «связанный» битумоид С. Кислотная обработка породы приводит к тому, что разрушаются карбонаты и солеобразные комплексы битуминозных компонентов, в результате чего дополнительно извлекается новая порция битумоида [2].

В большинстве работ предварительным этапом выделения ароматических соединений является жидкостно-жидкостная экстракция различными реагентами. После этого для выделения и разделения насыщенных, ароматических УВ и пигментов из нефти и хлороформного битумоида проводят жидкостно-адсорбционную хроматографию. В результате полученная фракция подвергалась разделению смеси насыщенных и ароматических УВ с помощью тонкослойной хроматографии. В результате были получены полициклические УВ.

Для определения концентрации пигментов широко используется электронная спектроскопия. Более детально этот метод описан в работе [3].

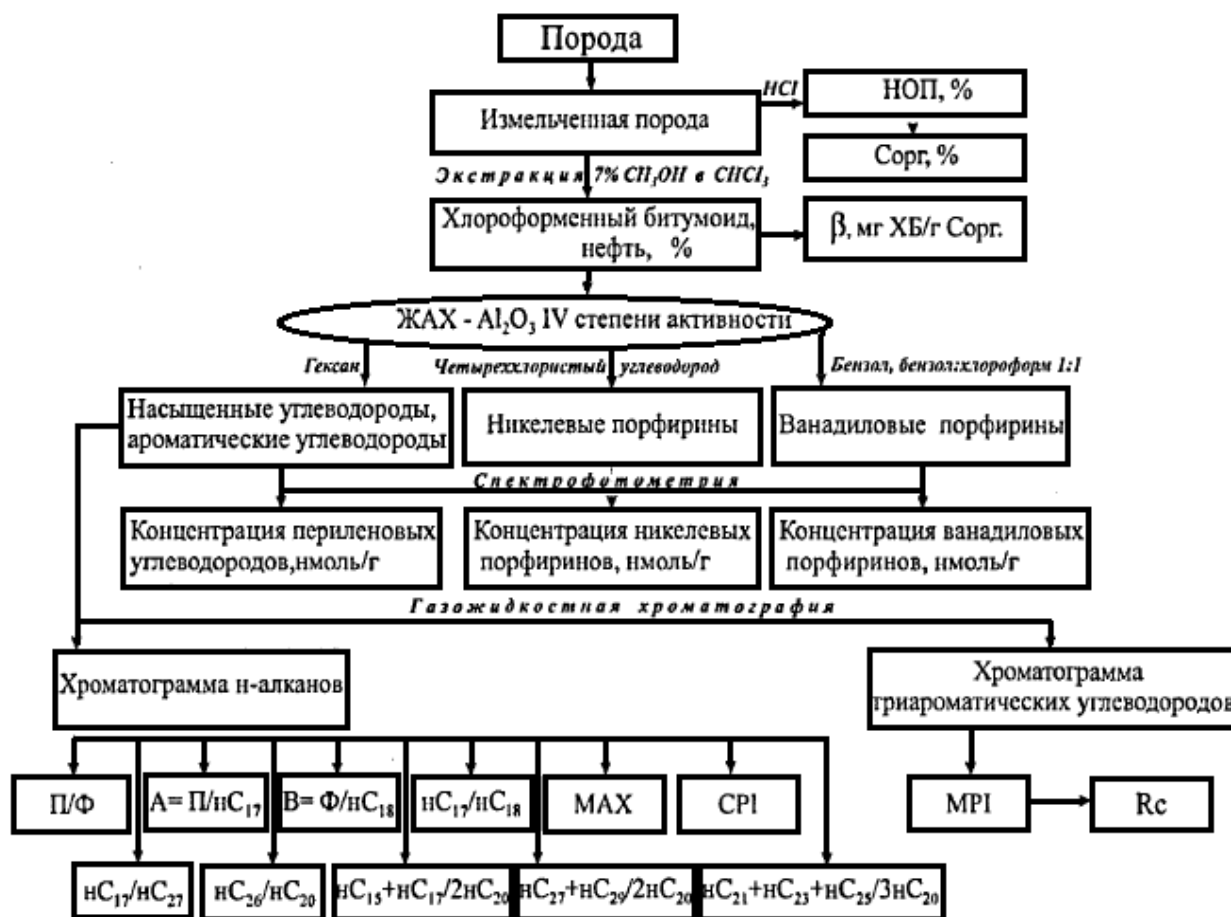


Рис. 3. Общая схема выделения и исследования РОВ и нефтей [2]

Таким образом, распределение перилена в РОВ пород и нефтях может рассматриваться как перспективный дополнительный существенный источник информации для палеогеографических реконструкций. В то же время очевидна недостаточность данных о распределении периленов в нефтях и РОВ ископаемых осадков, и факторах, контролирующих их присутствие на том или ином участке территории или разреза [2].

#### Библиографический список

1. Гулая Е.В. Закономерности распределения периленов в юре Западной Сибири / Е.В. Гулая, Н.А. Краснаярова, О.В. Серебренникова // Нефтегазовое дело. – 2008. №1, С. 31.
2. Краснаярова Н.А. Геохимия органического вещества нижней юры Западной Сибири: Диссертация на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук. Томск, 2007.
3. Наборщикова О.В. Определение содержания периленов в битумоидах пород «дивьянской» свиты разреза Камайский Лог// Геология в развивающемся мире: сб. науч. тр. по материалам IX Междунар. науч.-прак. конф. студ., асп. и молодых ученых: в 3 т. / отв. ред. А.Б.Трапезникова; Перм. гос. нац. исслед. ун-т. – Пермь, 2018., с. 156-159.
4. Wakeham G.S., Schaffner C, Giger W. Polycyclic aromatic hydrocarbons in recent lakes sediments – II. Compounds derived from precursors during early diagenesis. //Geochim. Cosmochim. Acta, -1980, vol. 44, No 3, p. 415-427.



## **ГЕОЛОГИЯ И НЕФТЕГАЗОНОСНОСТЬ НИЖНЕКАМЕННОУГОЛЬНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ВЕРХНЕПЕЧОРСКОЙ ВПАДИНЫ ПО ДАННЫМ БАСЕЙНОВОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**

В статье описано геологическое строение и оценены перспективы нефтегазоносности нижнего отдела каменноугольной системы в пределах Верхнепечорской впадины, на востоке которой она является глубокопогруженным. Глубокие недра остаются малоизученными, поэтому здесь полезно использование бассейнового моделирования. В статье описан состав толщи, дана геохимическая характеристика, а также приведены результаты 1 и 2D бассейнового моделирования. Составлены модели зональности катагенеза. Толща содержит нефтегазоматеринские породы, в ней возможно выделение коллекторов и покрышек. В нижнекаменноугольных отложениях происходили процессы генерации нефти, газов и газоконденсатов, которые могли обеспечить формирование залежей в рассмотренном отделе, в том числе в глубоких недрах, или в вышележащих горизонтах. Генерация и аккумуляция углеводородов происходили в благоприятное для формирования залежей время.

**Ключевые слова:** нижнекаменноугольные отложения, бассейновое моделирование, нефтегазоносность, Верхнепечорская впадина.

**Е.А. Kuznetsova**  
Perm State University, e.lena.kuznetsova@yandex.ru

## **GEOLOGY AND OIL&GAS POTENTIAL LOWER CARBONIFEROUS OF THE VERKHNEPECHORSKAYA DEPRESSION ACCORDING TO THE RESULTS OF BASIN ANALYSIS**

The article describes the geological structure and determines the prospects of oil&gas potential of the Mississippian Series within the Verkhnepechorskaya depression, where it often lies deep. The deep subsurface remains poorly studied, so the use of basin analysis is useful here. The article describes the composition of the strata, gives geochemical characteristics, and presents the results of 1 and 2D basin modeling. Models of the zoning of catagenesis are compiled. The stratum contains oil and gas mother rocks. It is possible to isolate collectors, as well as seals. The processes of generation of oil, gases and gas condensates took place in the Lower Carboniferous, which could form deposits in the studied layer, including in the deep subsurface, or in the overlying horizons. The generation and accumulation of hydrocarbons occurred at a time favorable for the formation of deposits.

**Keywords:** Lower Carboniferous, basin analysis, oil&gas potential, Verkhnepechorskaya depression.

Тимано-Печорская нефтегазоносная провинция характеризуется достаточно широким диапазоном промышленной нефтегазоносности. Залежи нефти и газа имеют возраст от среднедевонского до триасового. Они открыты, в том числе и в нижнем отделе каменноугольной системы.

При этом в юго-восточных районах провинции (Верхнепечорская впадина) нижнекаменноугольные отложения часто залегают на глубине более 4–5 км и могут быть отнесены к глубокопогруженным. Это касается прежде всего зоны развития надвигов.

Здесь к нижнекаменноугольным отложениям приурочены газовые, газоконденсатные и нефтегазоконденсатные залежи. Месторождения углеводородов (УВ) в пределах данной территории разрабатываются с 60-х гг. прошлого века, но глубокие недра остаются мало и неравномерно изученными.

Ниже рассмотрены геология и нефтегазоносность нижнего отдела каменноугольной системы Верхнепечорской впадины, одной из северных впадин Предуральяского краевого прогиба. Она имеет типичное для таких структур геологическое строение. Наблюдается четкая асимметрия с выделением западной и восточной зон, которые имеют разную толщину осадочного чехла. Максимальная мощность осадочного чехла (до 11 км и более) наблюдается в зонах развития надвигов. В строении впадины выделяются следующие структурные зоны: Печоро-Илычская моноклираль на западе и Вуктыльская тектоническая пластина, Курьинская антиклинальная зона, Сарьюдинская и Патраковская складчатые зоны на востоке (рис. 1). Последние часто относятся к складчато-надвиговому поясу Западного Урала [4].

В пределах Верхнепечорской впадины сосредоточено множество скважин, вскрывших глубокие отложения, к которым в пределах данной структуры можно отнести и рассматриваемую толщу. Большинство из них, приурочено к Вуктыльской тектонической пластине, кроме того, глубокие горизонты вскрыли скважины приуроченные к Сарьюдинской зоне поднятий, а также центральной и северной части Печоро-Илычской моноклинали.

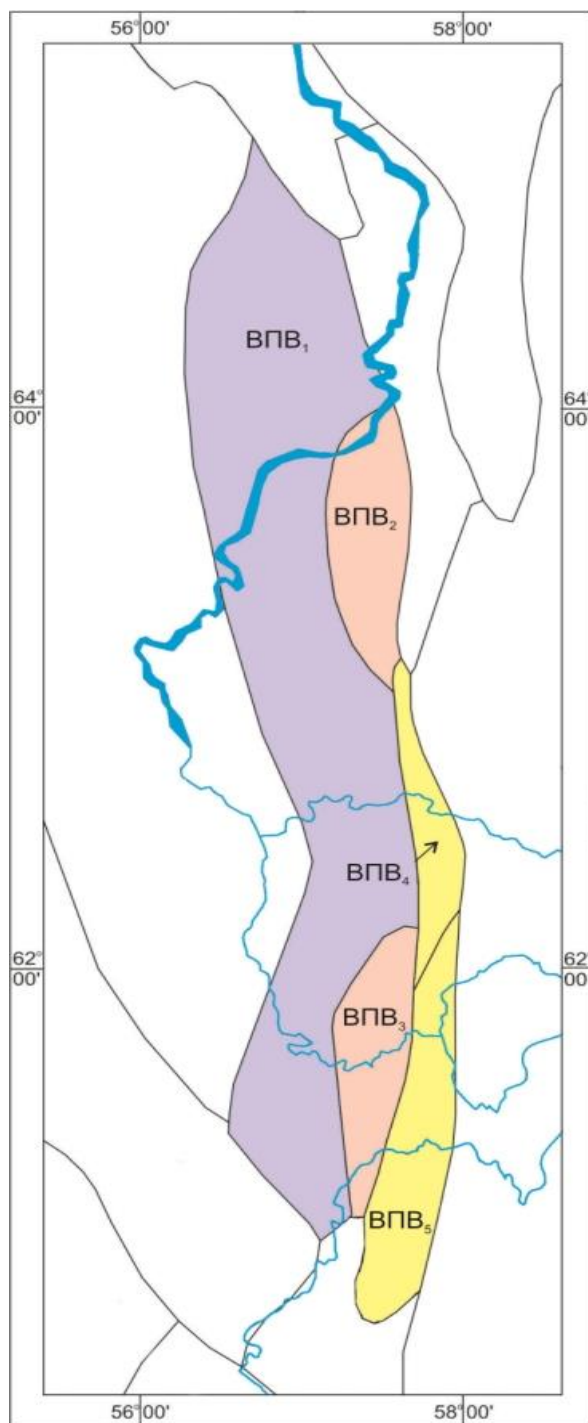


Рис. 1. Схема тектонического районирования Верхнепечорской впадины: ВПВ<sub>1</sub> – Печоро-Илычская моноклираль, ВПВ<sub>2</sub> – Вуктыльская тектоническая пластина, ВПВ<sub>3</sub> – Курьинская антиклинальная зона, ВПВ<sub>4</sub> – Сарьюдинская складчатая зона, ВПВ<sub>5</sub> – Патраковская складчатая зона

Нижнекаменноугольные отложения входят в состав трех нефтегазоносных комплексов: доманиково-турнейского, ниже-средневизейского и верхневизейско-нижнепермского. Как упоминалось ранее, все эти комплексы, в том числе базальная часть последнего в ряде скважин, могут быть отнесены к глубокопогруженным отложениям, что затрудняет изучение толщи, поэтому здесь может быть полезно применение бассейнового моделирования.

Для бассейнового моделирования необходимо составить базу данных о геологическом строении территории. Для этого были обобщены данные, полученные при бурении и исследовании скважин, глубина которых превышает 4,5 км, а также вскрывших фундамент: 1) мощности слоев; 2) литологический состав каждого слоя и 3) замеренные значения давления, температуры и пористости, а также результаты определений отражательной способности витринита (ОСВ) и пиролитических исследований, которые используются как для расчета, так и для верификации моделей.

После изучения геологического строения территории на основе анализа литолого-палеогеографических и палеотектонических карт Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции были выбраны и введены в используемые программные комплексы данные по термическому режиму осадочного чехла исследуемого района и палеоглубинам, т.е. так называемые «граничные условия». Были учтены основные тектонические события и смены обстановок осадконакопления. Модель формирования территории и геотермический режим согласованы с основными этапами развития Предуральского прогиба. Мощности размытых отложений и тепловые потоки корректировались при калибровке 1D моделей по значениям ОСВ и температуры.

Нижний отдел каменноугольной системы развит практически повсеместно на всей территории Верхнепечорской впадины. Толща сложена преимущественно карбонатными горными породами (рис. 2), только ниже-средневизейские и нижнетурнейские отложения представлены терригенно-глинистыми образованиями. На территории Верхнепечорской впадины мощность глубокопогруженного нижнего отдела увеличивается к востоку от 227 м (скв. Западное Дутово-1, запад Печоро-Илычской моноклинали) до 892 м (скв. Патраковка-2, Патраковская складчатая зона). Суммарная мощность в зоне развития надвигов превышает 1 км [1].

При сборе данных для бассейнового моделирования были обобщены данные определения зрелости органического вещества (ОВ) отложений – ОСВ и геохимические характеристики, отражающие генерацию углеводородов и др.

Результаты пиролиза Rock-Eval, проведенного Тимано-Печорским научно-исследовательским центром, позволили определить содержание общего органического углерода ( $C_{орг.}$ ), генетический тип ОВ, стадии его преобразования и генетический потенциал, а также классифицировать глубокопогруженные нефтегазоматеринские породы, определить их качество.

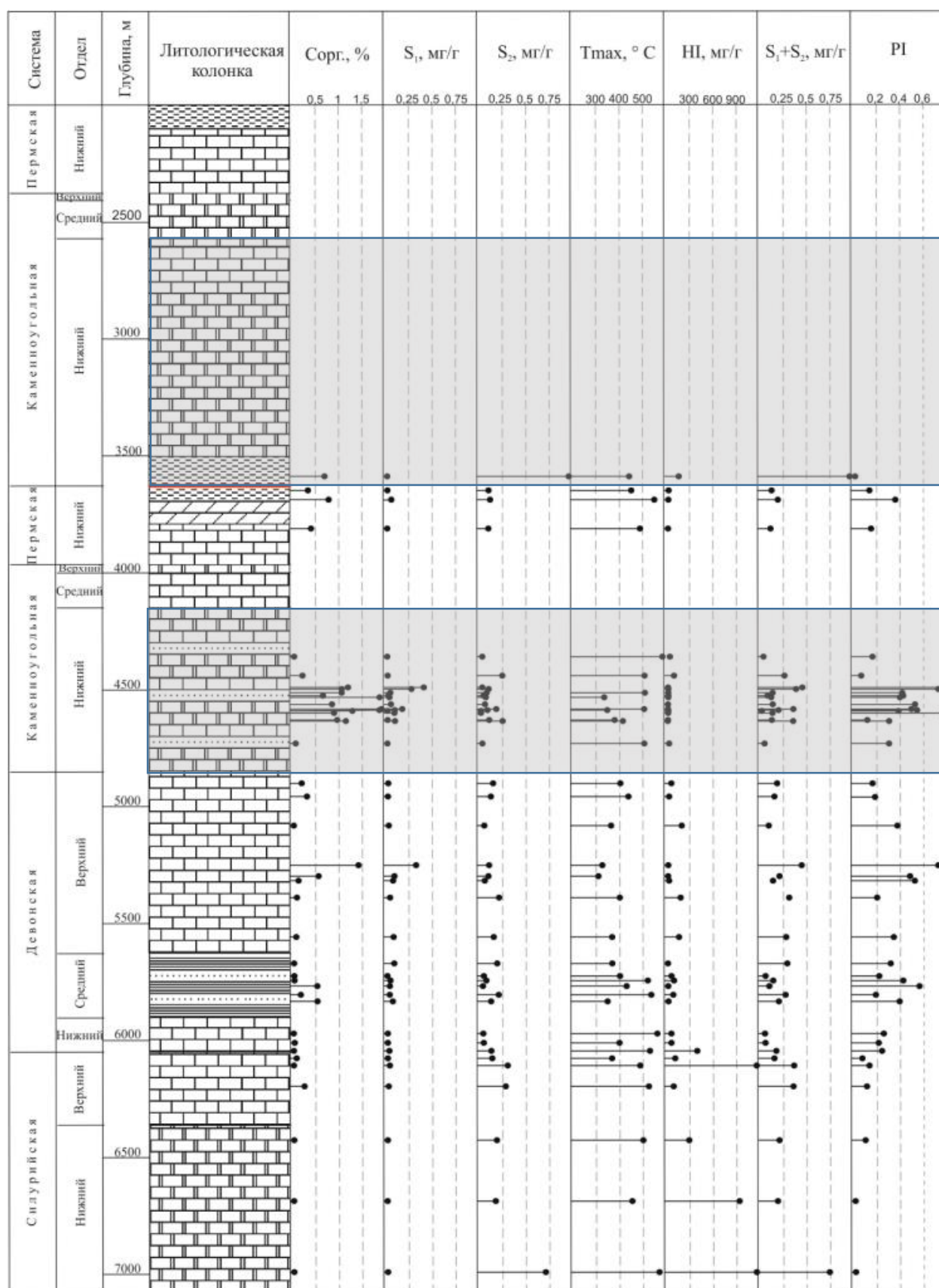


Рис. 2. Геохимический разрез скв. Вуктыльская-58 по данным пиролиза Rock-Eval

Нижнекаменноугольные отложения в основном содержат ОВ смешанного, а визейский ярус – гумусового фациально-генетического типа. Содержание  $C_{орг.}$  в

визейских отложениях довольно высокое и колеблется от 0,02 до 9,5 %. Наибольшие величины параметра выявлены в косьвинском горизонте, где более чем в половине образцов его значение превышает 2 %. Территориально максимальные значения  $C_{орг.}$  приурочены к северу Верхнепечорской впадины.

Но в целом генерационный потенциал толщи невелик. Индекс продуктивности указывает на процессы генерации УВ. Невысокие значения генерационного потенциала, указанные ранее и для визейского яруса, характеризующегося высокими значениями  $C_{орг.}$ , могут быть связаны с типом керогена, который генерирует наименьшее количество углеводородов [1,2,4].

В процессе сбора данных были обобщены данные о коллекторских свойствах комплекса, здесь выделяются коллектора и покрышки.

После проведения всех подготовительных работ было произведено 1 и 2D бассейновое моделирование. Качество рассчитанных моделей оценивалось по независимым параметрам, таким как современные замеренные значения пластовой температуры, ОСВ, давлений, пористости и результатам пиролиза по методу Rock-Eval ( $C_{орг.}$ ,  $T_{max}$  и др.), а также литературным данным.

Степень катагенеза оценивалась по рассчитанным значениям ОСВ. Модели прогрева и зональности катагенеза показали достижение достаточно жестких термобарических условий, была определена зональность катагенеза, выявлены закономерности её изменения. Результаты моделирования показали, что в нижнекаменноугольных отложениях в основном происходили процессы генерации нефти, газов и газоконденсатов, которые могли обеспечить формирование залежей как в рассмотренной толще, так и в вышележащих горизонтах.

Реконструкция истории осадконакопления и тепловой эволюции показала, что нижний отдел каменноугольной системы в пределах Верхнепечорской впадины вступал в главную фазу нефтеобразования в основном в раннепермское время, в пределах Вуктыльской тектонической пластины с позднекаменноугольной эпохи. Главной зоны газообразования достигли отложения восточных районов впадины, здесь генерация газа начиналась с биармийского времени и в триасовом периоде.

Генерация газообразных углеводородов в глубокопогруженных отложениях началась в благоприятное для формирования залежей время. При этом нефтегазообразование достигло наибольшей интенсивности, а из нефтегазоматеринских пород эмигрировало более половины от теоретически возможного количества углеводородов после того, как было сформировано большинство структурных ловушек в рассматриваемом регионе.

Большое влияние на масштабы генерации и аккумуляции углеводородов оказывала скорость прогибания. Визейский ярус характеризуется пониженными темпами прогибания оптимальными для генерации газа.



По литературным данным и результатам бассейнового моделирования была построена схематическая карта зональности катагенеза по подошве визейского яруса (рис. 3), которая показала, что отложения восточных и западных зон Верхнепечорской впадины характеризуются различными стадиями катагенеза – уровень зрелости ОВ на востоке впадины выше, чем на западе.

На карте видно, что на базальные отложения визейского яруса вдоль северо-западной границы впадины не достигли нефтяного окна. ОВ отложений северо-западной и юго-западной частей Печоро-Илычской моноклинали достигло градаций катагенеза МК<sub>1</sub>–МК<sub>3</sub>, это главная зона нефтеобразования. А главная зона газообразования выделяется на востоке, максимальные значения катагенеза приурочены к Вуктыльской тектонической пластине (АК<sub>1</sub>–АК<sub>3</sub>).

Изучение геологического строения и бассейновое моделирование нижнекаменноугольных отложений Верхнепечорской впадины позволило сделать ряд выводов.

Отдел содержит нефтегазоматеринские породы, наибольший интерес при этом вызывает визейский ярус.

В рассмотренной толще возможно выделение коллекторов и покрышек. Необходимо упомянуть также поверхности разломов, которые могут быть как экраном, так и путями вертикальной и латеральной миграции.

По результатам бассейнового моделирования можно заключить, что степень зрелости ОВ возрастает в восточном направлении. Для подошвы визейского яруса определена зональность катагенеза от незрелого ОВ до главной зоны газообразования на востоке. ОВ глубокопогруженных отложений отдела достигло градаций катагенеза от МК<sub>1</sub> и до АК<sub>1</sub>–АК<sub>3</sub>, т.е. на больших глубинах происходили процессы генерации углеводородов, которые могли обеспечить формирование залежей как в нижнекаменноугольном отделе, так и в вышележащих горизонтах.

Скорость осадконакопления в визейский век была оптимальна для генерации газообразных углеводородов, что в сочетании с гумусовым типом ОВ повышает перспективы газоносности нижнекаменноугольных отложений.

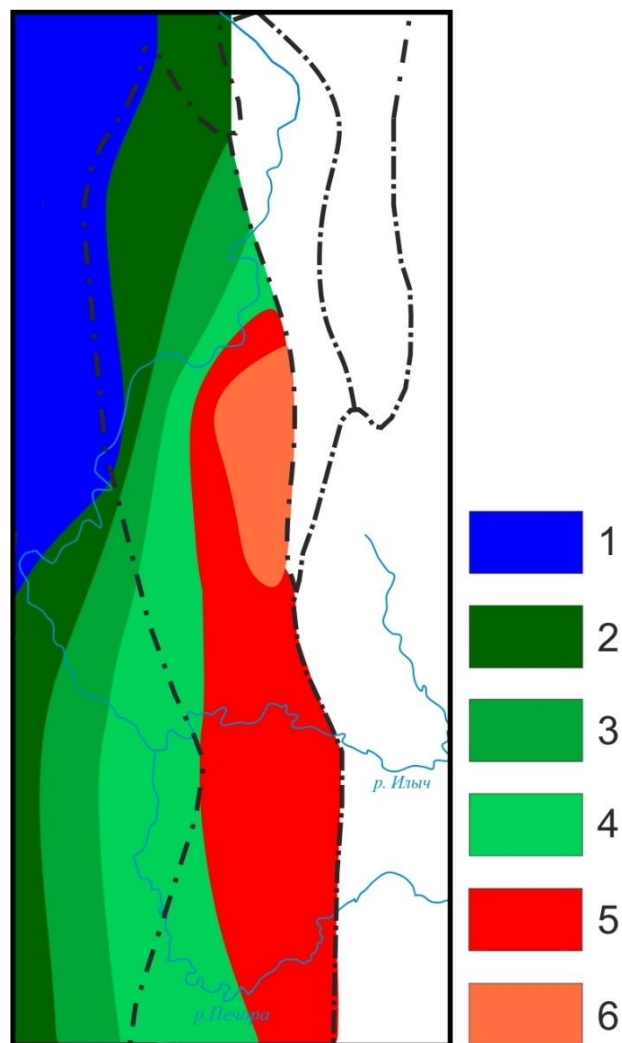


Рис. 3. Схематическая карта зональности катагенеза по подошве визейского яруса: 1–7 – ОСВ, % (градации катагенеза): 1 – <0,55 (ПК), 2 – 0,55–0,7 (МК<sub>1</sub>), 3 – 0,7–1,0 (МК<sub>2</sub>), 4 – 1,0–1,3 (МК<sub>3</sub>), 5 – 1,3–2,0 (МК<sub>4</sub>–МК<sub>5</sub>), 6 – 2,0–4,0 (АК<sub>1</sub>–АК<sub>3</sub>)



Генерация газообразных углеводородов в рассматриваемых отложениях происходила в благоприятное для формирования залежей время.

Здесь, в нижнем отделе каменноугольной системы, известны газовые, газоконденсатные и нефтегазоконденсатные залежи, более того он входит в состав основной газоконденсатной залежи Вуктыльского месторождения. Что подтверждает необходимость дальнейшего изучения этих и других глубокопогруженных отложений.

#### **Библиографический список**

1. *Беляева Г.Л.* Катагенез органического вещества пород глубокопогруженных горизонтов Тимано-Печорской НПП и его связь с нефтегазоносностью // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2014. № 7. С. 36–39.
2. Геофлюидальные системы Тимано-Печорской провинции / *С.А. Данилевский, З.П. Складорова, Ю.М. Трифачев* // Атлас карт. Ухта: Региональный дом печати, 2001.
3. *Дьяконов А.И., Овчарова Т.А., Шелемей С.В.* Оценка газонефтяного потенциала автохтонов и аллохтонов Предуральяского краевого прогиба на эволюционно-генетической основе. Ухта: УГТУ, 2008. 76 с.
4. *Кузнецова Е.А.* Геология и нефтегазоносность глубокопогруженных отложений Верхнепечорской впадины // Вестник Пермского университета. Геология. 2020. Т. 19. № 2. С. 175–182.

Ю.И. Степанов<sup>1</sup>, А.А. Тайницкий<sup>1</sup>, А.В. Горожанцев<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Горный институт УрО РАН, stepanov@mi-perm.ru

<sup>2</sup>ПГНИУ, gav@psu.ru

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ МЕТОДАМИ ЭЛЕКТРОРАЗВЕДКИ ПРИПОВЕРХНОСТНОЙ ЧАСТИ РАЗРЕЗА УЧАСТКА НЕФТЯНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Приведены результаты электроразведочных работ по изучению приповерхностной части разреза участка месторождения углеводородов. Представлены разрезы, планы кажущихся электрических сопротивлений, геоэлектрические разрезы, карта общей минерализации подземных вод. Определены возможные причины засоления подземных вод.

**Ключевые слова:** гидросфера, подземные воды, засоление, электроразведка, геоэлектрический разрез, минерализация, наблюдательная скважина.

Y.I. Stepanov<sup>1</sup>, A.A. Tainitsky<sup>1</sup>, A.V. Gorozhantsev<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Mining Institute UB RAS, stepanov@mi-perm.ru

<sup>2</sup>Perm State University, gav@psu.ru

### RESULTS OF RESEARCH BY METHODS OF ELECTRIC EXPLORATION OF THE NEAR-SURFACE PART OF THE SECTION OF THE OIL FIELD AREA

The results of electrical exploration work on the study of the near-surface part of the section of a section of a hydrocarbon deposit are presented. Sections, plans of apparent electrical resistivity, geoelectrical sections, a map of the general mineralization of groundwater are presented. Possible causes of salinization of groundwater in the studied area of the deposit were determined.

**Keywords:** hydrosphere, groundwater, salinization, electrometry, geoelectric section, mineralization, observation well.

В статье представлены результаты электроразведки, полученные на отдельном участке нефтяного месторождения ООО «Лукойл-Пермь» расположенного в Уинском районе Пермского края. Работы выполнены лабораторией наземной и подземной электрометрии ГИ УрО РАН в рамках проведения мероприятий по улучшению состояния приповерхностной гидросферы.

Исследования проведены в месте расположения имеющейся на участке наблюдательной гидрогеологической скважины № 1-НГ. Согласно техническому заданию исследовались горные породы в радиусе 300 м до глубины порядка 80 м относительно устья наблюдательной скважины, расположенной вблизи нефтяной скважины.

По данным ООО "БРАС", производившему сооружение скважины № 1-НГ, при бурении были пройдены породы на глубину 60 м. Отмечено, что зона аэрации до 20 м безводная. Описание пород разреза пройденного скважиной представлено в таблице 1.

Исследования проводились также как было указано в более ранних публикациях [4, 6-8] методами вертикального электрического зондирования (ВЭЗ) и естественного поля (ЕП) с применением аппаратуры метода сопротивлений АМС-1 [3]. Наблюдения методом ВЭЗ выполнялись с помощью симметричной четырёхэлектродной электроразведочной установки АМНВ [5], где в питающей линии АВ поддерживался ток 100 мА.

Таблица 1 – Характеристика пород

№ п\п	Геологический возраст пород	Описание пройденных пород	Мощность пласта, м	Глубина подошвы пласта, м
1	2	3	4	5
1	Q	Суглинок, супесь	10,0	10,0
2	P <sub>1ir</sub>	Ангидриты плотные	30,0	40,0
		Доломиты плотные с прослоями гипса	20,0	60,0

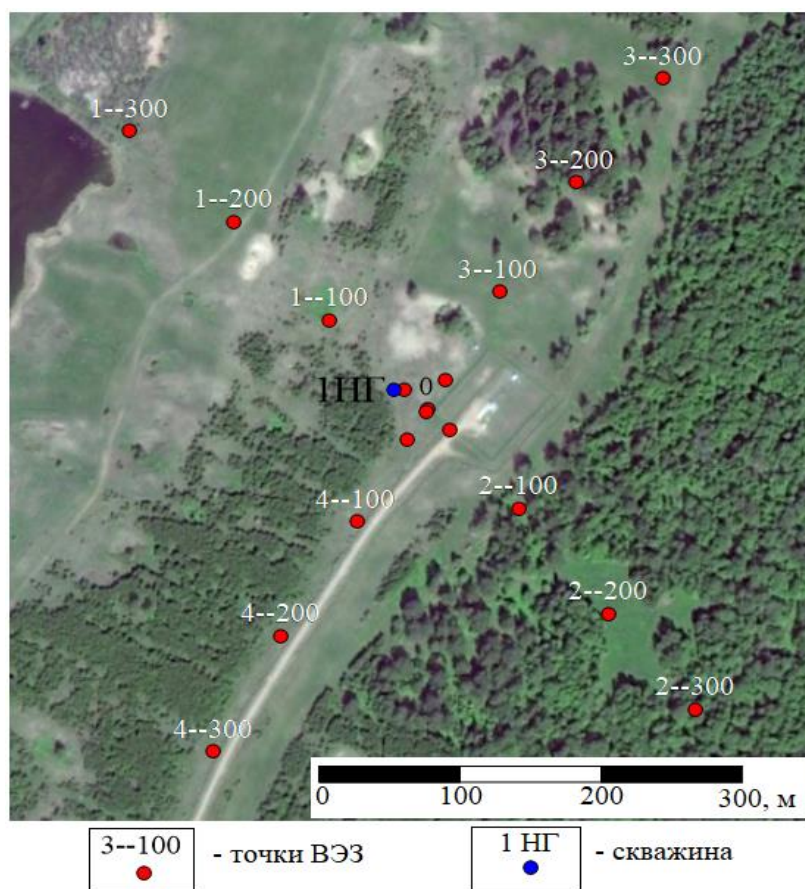


Рис. 1. Схема наблюдений на участке исследования

На рисунке 1 в условных обозначениях 1--300 первая цифра указывает на номер профиля, а число 300 на удаление точки ВЭЗ от устья наблюдательной скважины в метрах.

По результатам исследования методом ВЭЗ вычислены значения кажущегося удельного электрического сопротивления (УЭС) горных пород изучаемого объекта и построены планы изом кажущихся сопротивлений  $\rho_k$  (КС), позволяющие проследить изменение электрических свойств на глубину (рис. 2).

На планах изом для эффективных глубин 4,8-19 м прослеживается общая тенденция снижения сопротивлений, от значений 80-120 до 30 Ом·м и менее, преимущественно в северо-западном направлении (вдоль профиля 1-2) в долину р. Екатериновка и в меньшей степени в юго-западном (вдоль профиля 3-4) направлении.

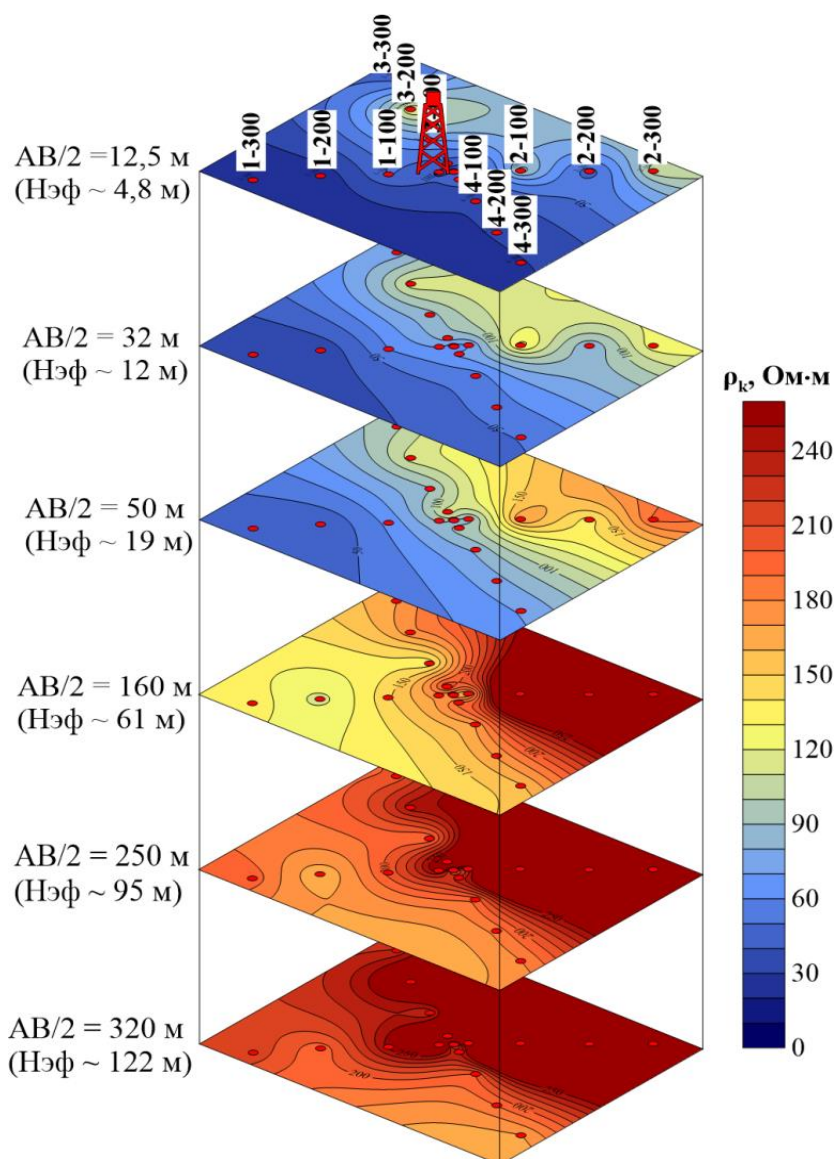


Рис. 2. Планы изом кажущегося сопротивления (скважина 1-НГ)

Это объясняется увеличением мощности четвертичных отложений в указанном направлении, а так же увеличением степени влагонасыщения пород грунтовыми водами.

В восточной части участка сопротивления имеют повышенные значения КС, обусловленные неглубоким залеганием плотных ангидритов. С увеличением глубины на планах изоом прослеживается общий рост сопротивлений до значений 200 Ом·м и более, обусловленный сульфатно-карбонатными породами нижнепермских отложений. В приповерхностной части разреза, приуроченной к четвертичным отложениям, сопротивления имеют наименьшие значения.

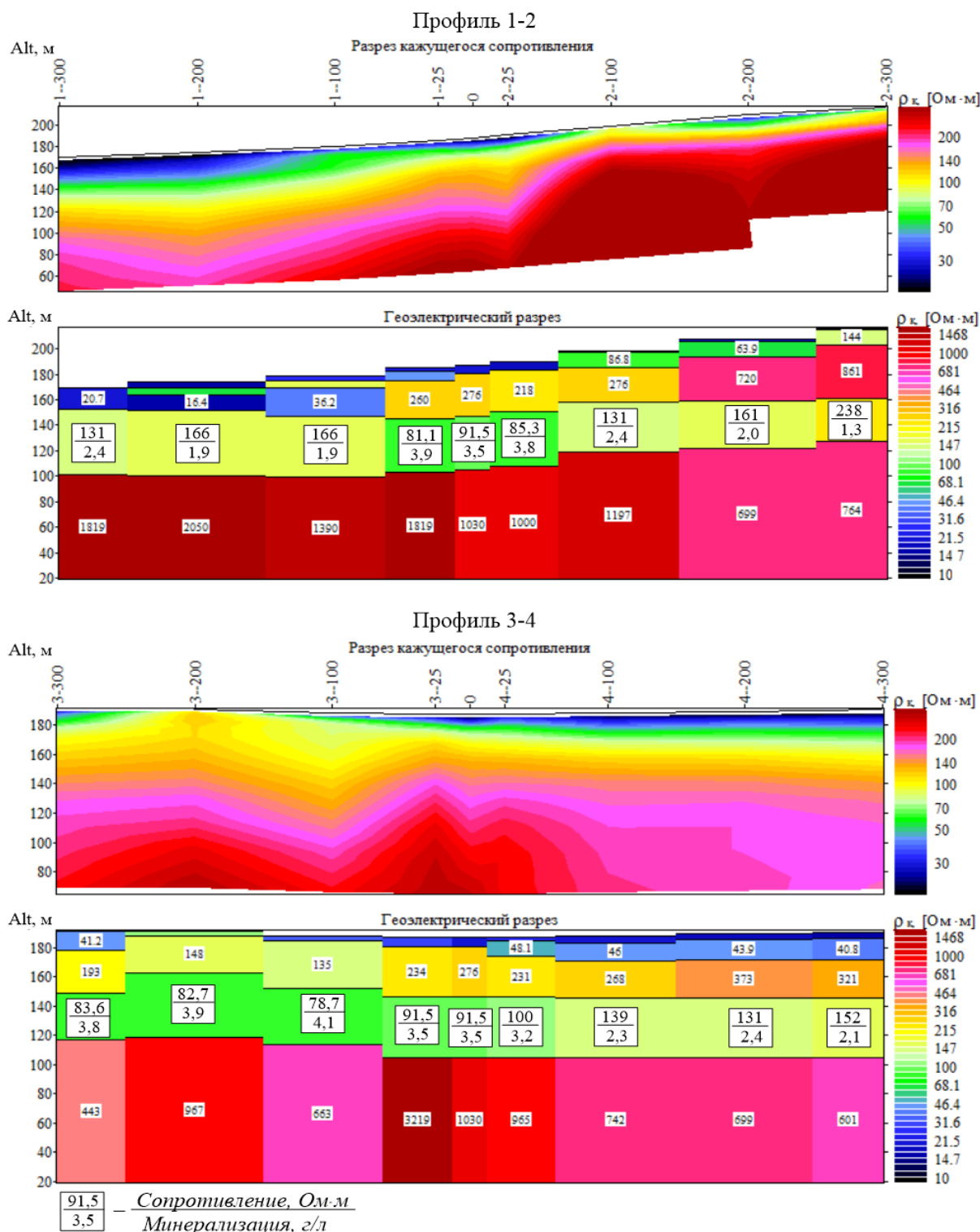


Рис. 3. Разрезы кажущихся сопротивлений и геоэлектрические разрезы по линиям наблюдений профиль 1-2 и профиль 3-4.

С увеличением глубины проникновения тока их величина равномерно увеличивается. Аномальных зон, которые бы указывали на наличие неоднородностей в разрезе, не наблюдается. Как было отмечено ранее на планах изомов вдоль линий наблюдения прослеживается общая тенденция снижения сопротивлений в северо-западном и юго-западном направлениях соответственно.

По результатам количественной интерпретации построены геоэлектрические разрезы, отображающие изменение электрических свойств геологических толщ, залегающих в интервале глубин от поверхности, примерно, до 90-120 м (рис. 3). Для профилей 1-2 и 3-4 геоэлектрические разрезы представлены четырех- и пятислойными электрическими моделями. Значения УЭС изменяются в достаточно широком диапазоне от первых десятков до 1000 Ом·м и более. Первые верхние два слоя в разрезе имеют относительно невысокие УЭС и отождествляются с рыхлыми четвертичными отложениями.

Ниже по разрезу следует геоэлектрический слой, обладающий относительно высокими сопротивлениями порядка 200-300 Ом·м. Мощность слоя в среднем составляет 20-30 м. Данный слой представлен трещиноватыми закарстованными ангидритами, что подтверждается наличием карстовых воронок на поверхности (в частности, на профиле 3-4 между т. ВЭЗ 3-25 и 3-100). На профиле 1-2 (т. ВЭЗ 1-100 – 1-300), в долине р. Екатериновка, данный слой обладает пониженными сопротивлениями, что вероятнее всего обусловлено повышенной обводненностью пород.

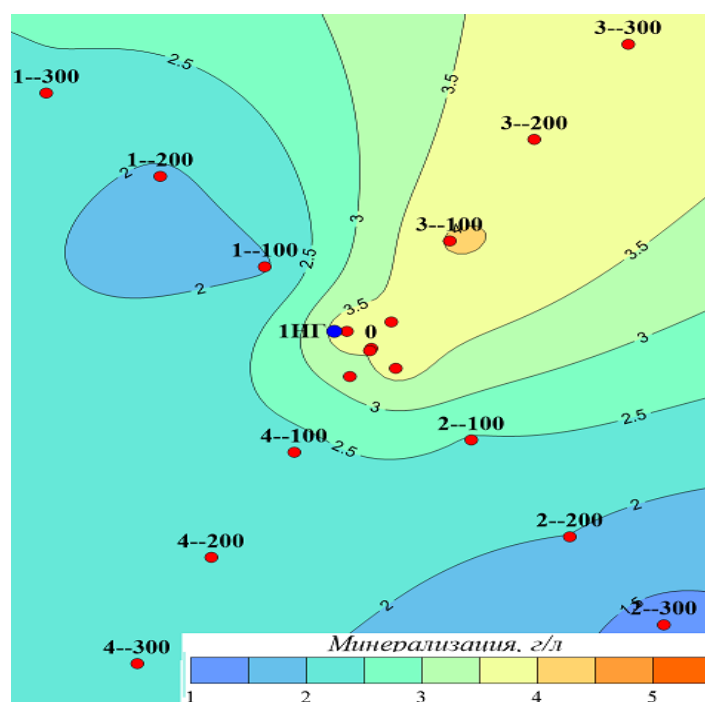


Рис. 4. Схема общей минерализации водоносного горизонта

Далее вниз по разрезу следует водоносный горизонт. Электрическое сопротивление пород данного горизонта находится в пределах 60-90 Ом·м. Мощность водоносного слоя составляет 30-40 м. На рисунке 4 представлена схема изменения общей минерализации для основного во вскрытой скважиной части разреза водоносного горизонта полученная на основании выполненных



наблюдений методом ЕП с учётом коррелятивных связей между УЭС и минерализацией подземных вод [5].

Нижний электрический горизонт в разрезе является опорным с удельными электрическими сопротивлениями от 400 до 2000 Ом·м. Он выделяется в интервале абсолютных отметок +(100-120) м (около 90 м по глубине).

Обращаясь к геоэлектрическим разрезам и рисунку 4, видно, что значения минерализации варьируют в диапазоне 1,5-3,5 г/л и более. Наибольшие значения минерализации 3-3,5 г/л отслеживаются в центральной части (в районе скважины 1-НГ) и северо-восточной части участка, вдоль линии наблюдения профили 3-4.

Учитывая интенсивные карстовые процессы, наблюдаемые в пределах исследуемого участка, можно предположить наличие зон повышенной трещиноватости горных пород, в том числе в районе скважины, которые и могут обеспечивать инфильтрацию загрязненных вод через зону аэрации в водоносный горизонт.

#### **Библиографический список**

1. Колесников В.П. О повышении однозначности интерпретации электрических зондирований // Вестник Пермского университета. Геология. 2011. № 2. С. 45-51.
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 Уралгеопол»: [сайт]. URL: <http://uralgeopole.ru> (дата обращения: 18.04.2022).
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., Горожанцев А.В., Костарев С.М. Результаты электрометрических наблюдений на отдельном участке нефтяного месторождения // Теория и практика разведочной и промысловой геофизики: сб. научн. трудов / гл. ред. В. И. Костицын; Пермский государственный национальный исследовательский университет. – Пермь, 2020. С. 234-241.
7. 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.
8. Степанов Ю.И., Тайницкий А.А., Горожанцев А.В. Результаты изучения приповерхностной гидросферы методами электрометрии // Геология и полезные ископаемые Западного Урала / под общ. ред. П.А. Красильникова; Перм. гос. нац. исслед. ун-т. – Пермь, 2021. № 4 (41) С. 202-208.

## **СОПОСТАВЛЕНИЕ ЛИТОЛОГИЧЕСКИХ И СЕЙСМИЧЕСКИХ ГРАНИЦ В РАЗРЕЗЕ НА ПЕТРОВСКОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ**

Рассмотрена возможность и результаты сопоставления литологических и сейсмических границ по данным сейсморазведки, литологии, данным ГИС (ГК, НГК).

**Ключевые слова:** сейсморазведка, скважинные данные, МОГТ, обработка, интерпретация.

**I.V. Ogorodova**  
Perm State University, irinaog@mail.ru

## **COMPARISON OF LITHOLOGICAL AND SEISMIC BOUNDARIES IN THE SECTION AT THE PETROVSKY FIELD**

The possibility and results of comparing lithological and seismic boundaries according to seismic data, lithology, GIS data (GC, NGC) are considered.

**Keywords:** seismic exploration, borehole data, analysis, processing, interpretation.

Для написания данной статьи был использован отчет Петровской сейсморазведочной партии проводившей поисковые сейсморазведочные работы МОГТ 2Д на Петровской площади Нурлатского района, данные интерпретации и скважинные данные этой же площади.

Целевым назначением работ являлось изучение геологического строения, уточнение контуров нефтяных залежей нефти в пределах лицензионного участка Петровского месторождения с применением данных МОГТ.

Автором статьи проведено детальное сопоставление сейсмических и каротажных данных между отражениями В и У вблизи 7 скважин.

Район работ Петровской сейсморазведочной партии расположен в южной части Закамья Республики Татарстан в пределах бассейна реки Большой Черемшан и водораздельного пространства между реками Большая Сульча и Большой Черемшан (рис.1). В морфологическом отношении исследуемая территория представляет собой плато, расчлененное сетью неглубоких речных и овражно-балочных долин.

В геологическом строении района работ принимают участие отложения архейско-протерозойского, палеозойского и кайнозойского возрастов. Разрез состоит из фундамента и осадочного чехла.

Залежи нефти на месторождениях приурочены к отложениям турнейского яруса, бобриковского горизонта нижнего карбона, башкирского яруса, верейского и каширского горизонтов среднего карбона [1].

Полевые наблюдения выполнялись по системе 48-кратного профилирования с интервалом возбуждения 30м при расстоянии между центрами групп



интерпретационных процедур с привлечением всей имеющейся на площади геолого-геофизической информации.

Граф обработки предусматривал выполнение последовательности следующих процедур:

1. Считывание информации с картриджей.
2. Преобразование формата полевых записей в формат, принятый в обрабатывающей системе FOCUS.
3. Описание геометрии профиля и формирование базы данных.
4. Анализ качества полевых сейсмограмм и их редактирование.
5. Коррекция затухания сейсмической записи
6. Деконволюция.

Выбор процедур обработки определяется, в первую очередь, методикой полевых работ [2].

При интерпретации материалов по всем временным разрезам с различной степенью достоверности были прокоррелированы отражения К, В, У, Д, связываемые с границами в осадочном чехле, и отражающий горизонт А, отождествляемый с поверхностью кристаллического фундамента. Определение геологических границ, с которыми увязывались прослеженные по площади отражения, было осуществлено по материалам сейсмокаротажных исследований в глубоких скважинах.

Проблема сопоставления литологических и сейсмических границ в осадочном чехле является чрезвычайно актуальной и важной. Например, решение этой проблемы напрямую связано с интерпретацией временных разрезов в терминах секвенс-стратиграфии [3]. С другой стороны, как будет продемонстрировано ниже, такой подход позволяет выделять в разрезах целый ряд нефтеперспективных объектов – таких как маломощные биогермы и зоны развития карста в карбонатных отложениях.

Для проведения детального анализа сейсморазведочных данных и сопоставления их с результатами исследования скважин были выбраны 3 профиля (408762,181216,417976) и 7 скважин (87,25,45;57;11,67,48 соответственно), располагающиеся на выбранных профилях. По всем трем профилям выделяются поднятия, выявленные по отражающим границам В (приуроченное кровле поверхности верейского горизонта среднего карбона) и У (кровле тульского горизонта нижнего карбона). Также в моем распоряжении были кривые НГК и ГК по данным скважинам.

Работа проведена в три этапа. На первом этапе была проведена корреляция отражений на временных разрезах и построена схема корреляции (рис.2). На втором этапе проведена корреляция скважин по кривым НГК и ГК (рис.3), также построена схема корреляции. На кривых обнаруживается целый ряд особенностей (максимумов, минимумов), которые можно легко прокоррелировать. На третьем этапе было проведено сопоставление этих схем корреляции и проведена качественная интерпретация полученного сопоставления.

В области (по площади и в разрезе – стратиграфически) наблюдаются сильные изменения уровня моря, что могло привести к формированию маломощных

рифовых образований либо зон карстования, которые являются объектами перспективными на обнаружение нефтяных залежей.

Сопоставление этих схем корреляции продемонстрировано на рис.4. Из этого рисунка видно, что границы выделенные по данным ГИС и сейсмические границы, соответствующие отражениям У и В хорошо согласуются. Это происходит потому, что в обоих случаях эти границы совпадают с региональными перерывами.

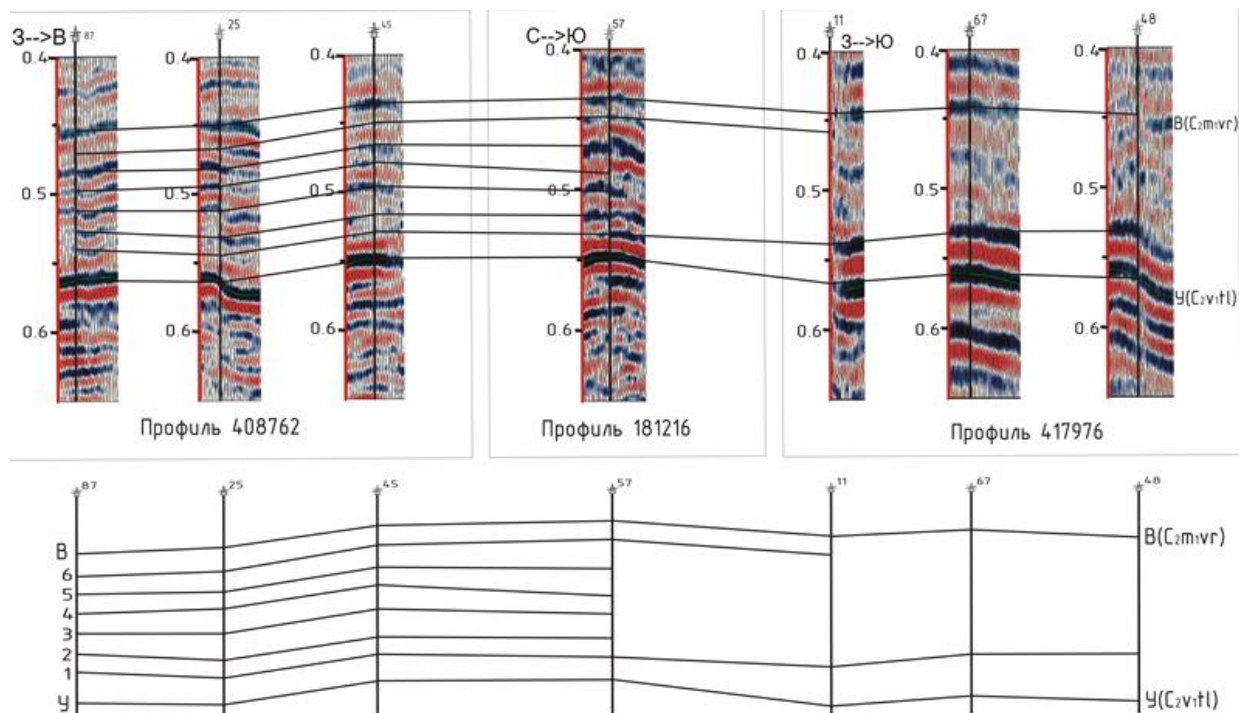


Рис. 2. Схема корреляции отражений на временных разрезах

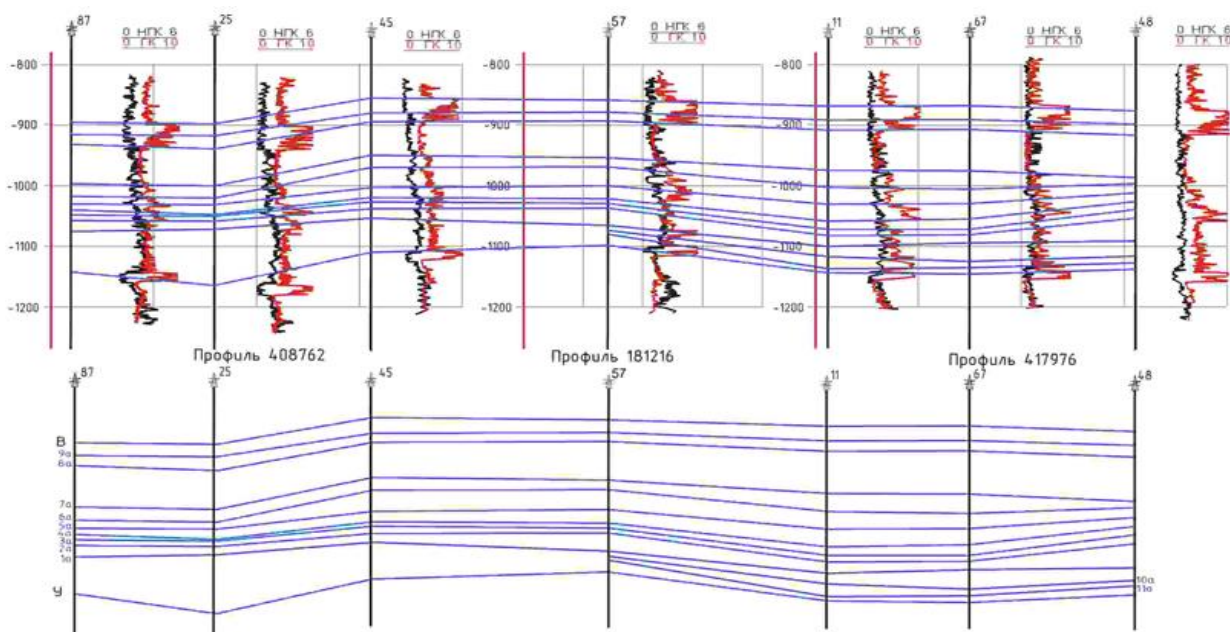


Рис. 3. Схема корреляции геологических границ на диаграммах ГК и НГК

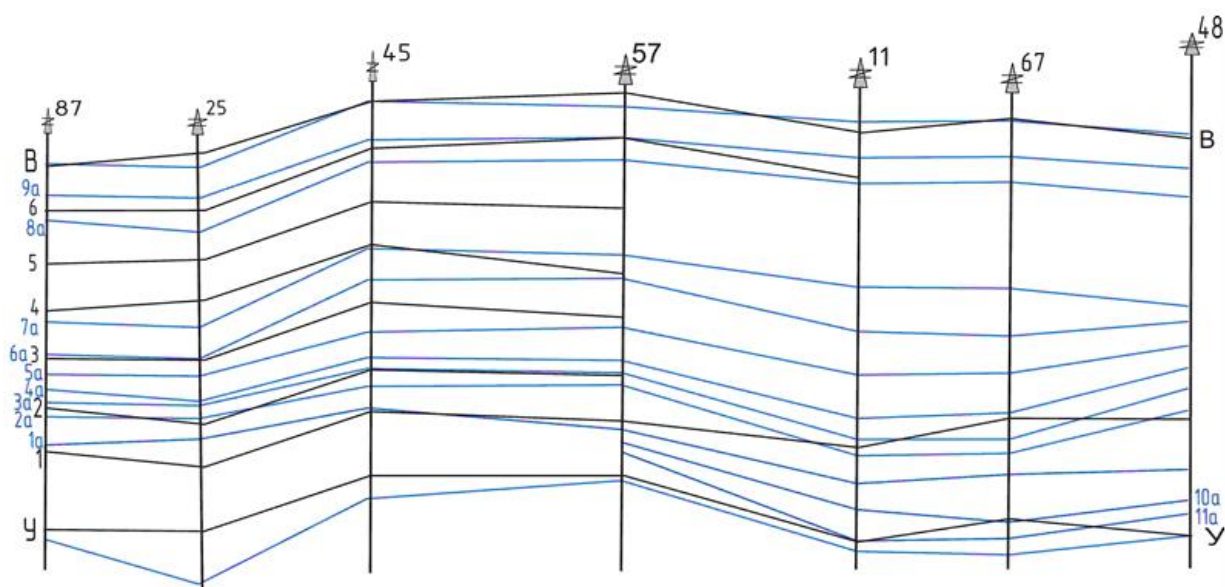


Рис. 4. Схема корреляции литологических и сейсмических границ

Детальный анализ сейсмических и каротажных данных проведенный вблизи 7 скважин, располагающихся в различных частях площади, позволил установить, что в области развития верхневизейской карбонатной толщи наблюдаются отчетливые пересечения границ пластов, выделенных по сейсморазведочным данным и ГИС. Что, в свою очередь, предположительно, свидетельствует о наличии зон фациального изменения (замещения), следовательно, о значительных вариациях уровня моря (трансгрессии, регрессии). Этот факт может быть использован для прогнозирования в этой части разреза маломощных рифогенных образований перспективных на обнаружение углеводородных разностей. Также не исключается возможность развития в этой зоне – зон карстования.

#### Библиографический список

1. Бадамин Э.З. Критерии оценки перспектив нефтеносности карбонатных отложений. Казань: Казан. гос.ун-т. 1978, 168с.
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.
3. Верхованцева Т.В., Дягилев Р.А., Маловичко Д.А., Митюнина И.Ю. Нетрадиционный подход к восстановлению частотной характеристики локальной сейсмологической сети // Вестник Пермского университета. Геология. 2010. № 1. С. 46-49.



## **АНАЛИТИЧЕСКОЕ ПРОДОЛЖЕНИЕ ЗНАЧЕНИЙ ГРАВИТАЦИОННОГО ПОЛЯ В ОБЛАСТЬ ЗАНЯТУЮ МАССАМИ**

В статье рассматриваются результаты исследования при решении обратной задачи гравиметрии. Решение обратной задачи проводится путем аналитического продолжения заданных значений гравитационного поля на поверхности Земли в нижнее полупространство. Показывается, что решение обратной задачи должно происходить в два этапа. На первом шаге определяется контур области, занятой тяготеющими массами, с использованием уравнения Лапласа. На втором шаге используется обобщение уравнения Пуассона для определения плотности распределения масс, заполняющих область, контур которой определен на первом шаге. При этом при постановке задачи аналитического продолжения применяются положения теории потенциала. Приводятся результаты численных расчетов на модельном примере с определением неизвестных значений плотности и значений гравитационного поля внутри области, заполненной гравитирующими массами.

**Ключевые слова:** аналитическое продолжение, уравнения Лапласа и Пуассона, теория потенциала, системы линейных алгебраических уравнений.

**Z.Z. Arsanukaev, E.G. Rudakovskaya**

RCTU named after D.I. Mendeleev, Moscow, zaindy@mail.ru

## **ANALYTICAL CONTINUATION OF THE VALUES OF THE GRAVITATIONAL FIELD TO THE REGION OCCURRED BY MASS**

The article discusses the results of research in solving the inverse problem of gravimetry. The solution of the inverse problem of the problem is carried out by analytical continuation of the given values of the gravitational field on the Earth's surface into the lower half-space. It is shown that the solution of the inverse problem should occur in two stages. At the first step, the contour of the area occupied by gravitating masses is determined using the Laplace equation. At the second step, a generalization of the Poisson equation is used to determine the distribution density of the masses that fill the area, the contour of which is determined at the first step. In this case, when setting the problem of analytic continuation, the provisions of potential theory are applied. The results of numerical calculations are given on a model example with the determination of unknown values of density and values of the gravitational field inside the region filled with gravitating masses.

**Key words:** analytic continuation, Laplace and Poisson equations, potential theory, systems of linear algebraic equations

Важнейшее место в гравиметрии занимает задача аналитического продолжения заданных значений поля на поверхности Земли в нижнее (верхнее) полупространство. Вопросами аналитического продолжения, определения особых точек гравитационных полей занимались такие ученые как Т.М. Воскобойников, А.А. Логачев, В.И. Андреев, В.М. Березкин и многие другие.

В.Н. Страховым был предложен подход по аналитическому продолжению значений, в основе которого лежит разработанный им метод дискретных аппроксимаций физических полей [1]. Реализация этого подхода с использованием соответствующих дискретных схем связана с заменой вторых частных производных дифференциального оператора уравнения Лапласа вторыми разделенными разностями, непрерывные функции заменяются сеточными функциями. В результате задача аналитического продолжения заданных значений гравитационного поля в нижнее полупространство с использованием уравнения Лапласа сводится к задаче составления и решения систем линейных алгебраических уравнений. Указанный подход был использован при проведении целого ряда вычислительных экспериментов по аналитическому продолжению для гравитирующих тел с различными формой поверхности и плотностью [2,3,4,5]. Была разработана специальная методика оценки точности расчетных значений гравитационного поля, получаемых в нижнем полупространстве по заданным значениям; системы линейных алгебраических уравнений возникающие при решении задачи аналитического продолжения решались методом простой итерации. Следует отметить, что задача аналитического продолжения, решение которой приведено выше, является некорректно поставленной в смысле классической постановки задачи Дирихле для уравнения Лапласа в прямоугольнике. Действительно, заданные значения, определяемые по результатам гравиметрической съемки, располагаются только на части контура (в отличие от классической постановки) имеющего форму прямоугольника, обычно на дневной поверхности Земли. Тем не менее были получены вполне удовлетворительные результаты при аналитическом продолжении, когда заданные значения поля располагались на уровнях (профилях): на уровне Земли :  $z=0$  и на уровне шага сетки выше уровня Земли:  $z=-h$  (ось  $Oz$  направлена вниз). По результатам аналитического продолжения уверенно определяются верхняя граница области, заполненной тяготеющими массами, особые точки (при наличии), центр тяжести области и с меньшей точностью положение нижней границы области.

Следующим шагом в решении обратной задачи гравиметрии, после определения на первом шаге контура области, заполненной массами, может быть определение плотности масс также в результате аналитического продолжения, но теперь внутри области, занятой массами. Заданными значениями по всему контуру области при аналитическом продолжении будут являться значения гравитационного поля, полученные на первом шаге как указано выше. Но при аналитическом продолжении внутри области, заполненной массами, очевидно, предварительно необходимо решить две основные проблемы. Во-первых, известная формула Пуассона, описывающая поле гравитационного потенциала внутри масс здесь непригодна, поскольку при решении задачи аналитического продолжения на первом шаге с помощью уравнения Лапласа, описывающего поле гравитационного потенциала (и его производных) вне масс, заданными значениями являлись значения вертикального градиента потенциала (полученные в результате гравиметрической съемки); соответственно, “входные” значения поля, которые будут использованы при аналитическом

продолжении уже внутри масс будут значениями поля первой производной потенциала (а не просто потенциала). Во-вторых, для существования решения необходимо, чтобы поле первой производной потенциала было непрерывным во всем пространстве – как внутри масс, так и вне масс. Вкратце решения этих проблем, проанализированных с использованием с привлечением теории потенциалов [6], выглядят следующим образом. Начнем с рассмотрения второй проблемы. Несложный анализ проведенный вначале для однородной сферы показывает, что потенциал однородной сферы и его первая производная есть функции, ограниченные и непрерывные во всем пространстве, т.е. и внутри массы, и вне ее; в точках  $\bar{P}$  поверхности сферы значения потенциала и первой производной как внутри масс, и вне масс совпадают. Этот результат без изменения переносится на случай произвольного распределения объемных масс с переменной плотностью. Относительно первой проблемы – как уже было отмечено выше: для объемного потенциала справедлива теорема Пуассона как и для однородной сферы в следующей форме: *во всех внутренних точках объема  $T$  потенциал  $V(p)$  удовлетворяет уравнению :*

$$\Delta_p(V) = -4\pi\mu(P), \quad (1)$$

где  $\mu(P)$  означает плотность в точке  $P$ .

Требуемая формула описывающая поле производной объемного гравитационного потенциала внутри масс будет иметь вид:

$$\Delta\left(\frac{\partial V}{\partial \rho}\right) = -\frac{8}{3\rho}\mu p \quad (2)$$

Указанные выше соображения при постановке задачи аналитического продолжения заданных значений гравитационного поля в области, заполненной массами были положены в основу расчетной схемы на модельном примере наклонного пласта однородной плотности .однородной плотности с  $\mu = 0.1\text{г/см}^3$  и в условиях двумерной задачи

Наклонный пласт представляет собой тело бесконечного простираения ( в направлении оси  $Oy$ ), ограниченное сверху горизонтальной, а с боков – двумя параллельными наклонными плоскостями . Значение аномалии силы тяжести  $\Delta g$  (3) для наклонного пласта однородной плотности представляет собой точное решение прямой задачи . Оно записывается в полярных координатах[7] . В рассматриваемом модельном примере принимались:  $h=4\text{км}$ ,  $H=8.2\text{км}$  ( $h$ ,  $H$  – расстояния от  $z=0$  до верхней, соответственно нижней кромки наклонного пласта ),  $x_3 - x_1 = x_4 - x_2 = 2.4\text{км}$ ( горизонтальная мощность пласта);  $\alpha = 47$  градусов, длина профиля – 32 км, шаг сетки – 200м.

$$\begin{aligned} \Delta g = & 2f\sigma h \left\{ \zeta (\varphi_1 - \varphi_3) - (\varphi_2 - \varphi_4) + \right. \\ & + \xi \sin^2 \alpha \ln \frac{\rho_1}{\rho_2} - (\xi - n) \sin^2 \alpha \ln \frac{\rho_3}{\rho_4} - \xi \cos \alpha \sin \alpha (\varphi_2 - \varphi_1) + \\ & \left. + (\xi - n) \cos \alpha \sin \alpha (\varphi_3 - \varphi_4) \right\}, \end{aligned} \quad (3)$$

где,  $\zeta = \frac{H}{h}$ ,  $\eta = \frac{d}{h}$ ,  $\xi = \frac{x}{h}$ ,  $f$  – гравитационная постоянная,  $\sigma$  – избыточная плотность.

Таким образом, здесь решается задача: по “входным” значениям поля заданным по всему контуру наклонного пласта с использованием дискретных аппроксимаций уравнения (3) восстановить значения поля вертикального градиента потенциала и значения сеточных масс (плотностей) внутри наклонного пласта. При шаге сетки  $h=0.2$  км возникает система линейных алгебраических уравнений (СЛАУ) с переопределенной матрицей  $A=546 \times 520$  и правой частью  $f=546 \times 1$  (неизвестными являются 260 значений поля вертикального градиента потенциала и столько же значений сеточных плотностей).

Как показали результаты расчетов, в векторе решения СЛАУ, имеющем 520 компонент, значения поля  $\frac{\partial V}{\partial z}$  и значения плотности значительно различаются, как и следует, по абсолютной величине: первые величины порядка  $\sim 10^{-4}$ - $10^{-3}$ , вторые  $\sim 10^{-1}$ - $10^1$ . Далее, если область внутри прямого пласта разбить на 3 подобласти I, II, III, содержащих соответственно по 96, 96 и 68 внутренних узлов, то усредняя значения плотности по всем узлам, получим, что наиболее близкой к истинной (равной  $0.1 \text{ г/см}^3$ ) является плотность во II области (т.е. в средней части пласта), затем в I; в III области, содержащей меньшее количество точек плотность уже значительно отличается от истинной.

### Библиографический список

1. *Страхов В.Н., Арсанукаев З.З.* Теория дискретного гравитационного поля (двухмерный вариант) и ее использование при решении задач гравиметрии. Материалы 28-й сессии Международного семинара им. Д.Г. Успенского «Вопросы теории и практики геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей». Екатеринбург, 28 января – 2 февраля 2002. В двух частях. Ч. II. М.: ОИФЗ РАН, 2002. С. 73-77.
2. *Арсанукаев З.З.* Выделение и оконтуривание гравитирующих объектов современным методом пересчета гравитационного поля в нижнее полупространство. Ж-л «Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле» » 2013 №1. Выпуск 21. С. 231-241.
3. *Арсанукаев З.З.* Применение технологии выделения перспективных разрезов посредством пакета программ «GrAnM» для куполовидных структур. Материалы 42-й сессии Международного семинара им. Д.Г. Успенского «Вопросы теории и практики геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей». 26 января – 31 января 2015, г. Пермь, 2015. - С. 9-11.
4. *Арсанукаев З.З.* О особенностях использования технологии оконтуривания посредством пакета программ «GrAnM» для наклонных пластов. Материалы 43-й сессии Международного семинара им. Д.Г. Успенского «Вопросы теории и практики геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей». 26 января – 30 января 2016 г. Воронеж, 2016. - С. 21-23.

5. *Арсанукаев З.З.* Исследование закономерностей в поведении расчетного гравитационного поля, полученного в результате аналитического продолжения, для антиклинальных и синклинальных складок. Материалы 44-й сессии Международного семинара им. Д.Г. Успенского «Вопросы теории и практики геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей». 23-27 января 2017 г. Москва, с.29-33.

6. *Идельсон Н.И.* Теория потенциала и ее приложения к вопросам геофизики. ГТТИ, Ленинград, Москва, 1932. 384 с.

7. *Андреев Б.А., Клушин И.Г.* Геологическое истолкование гравитационных аномалий. Л.: Недра, 1965. С. 495.

## **ОТЛИЧИТЕЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ МОНТАЖНОГО МЕТОДА РЕШЕНИЯ ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ ГРАВИРАЗВЕДКИ**

Рассматривается решение нелинейной обратной задачи гравirazведки рудного типа с помощью монтажного метода в модификации регулируемой направленной кристаллизации (РНК). В ходе итерационного процесса реализуется принцип локально-оптимального выбора наилучшего варианта из конечного множества моделей источников поля. Перечислены пять отличительных особенностей алгоритма РНК, одной из которых является включение априорно известного параметра – эффективной плотности аномалиеобразующего тела (или совокупности тел) в число оптимизируемых переменных. Представлен синтетический пример, убедительно доказывающий целесообразность вычисления оптимальных значений эффективной плотности пробных конфигураций при моделировании даже единичного объекта по точно заданным значениям гравитационного поля. «Аналог РНК», в алгоритме которого эта операция отсутствует, не позволяет даже достичь порогового значения невязки наблюдаемого и модельного полей.

**Ключевые слова:** гравirazведка, обратная задача, монтажный метод, регулируемая направленная кристаллизация, особенности, оптимизация, эффективная плотность, невязка.

## **DISTINCTIVE FEATURES OF THE MOUNTING METHOD TO THE INVERSE PROBLEM OF GRAVITY EXPLORATION**

The solution of the nonlinear inverse problem of ore-type gravity prospecting using the mounting method in the modification of controlled directional crystallization (CDC) is considered. During the iterative process, the principle of locally optimal choice of the best option from a finite set of field source models is implemented. Five distinguishing features of the CDC algorithm are listed, one of which is the inclusion of a priori known parameter – the effective density of an anomaly-forming body (or a set of bodies) in the number of optimized variables. A synthetic example is presented that convincingly proves the expediency of calculating the optimal values of the effective density of test configurations when modeling even a single object using precisely specified values of the gravitational field. The “CDC analogue”, in whose algorithm this operation is absent, does not even allow reaching the threshold value of the discrepancy between the observed and model fields.

**Key words:** gravity prospecting, inverse problem, installation method, controlled directional crystallization, features, optimization, effective density, discrepancy.

При решении обратных задач гравirazведки с некоторой долей условности выделяют три класса искомых пространственных распределений масс, отвечаю-



ших трех типичным физико-геологическим ситуациям [2]. Для рудного типа задач разрез представляет собой совокупность локальных односвязных сравнительно гладких тел (с постоянной или переменной плотностью), находящихся в однородной по плотности вмещающей среде. В структурных задачах рассматривается субгоризонтально слоистая геологическая среда (на границе слоев наблюдаются скачки плотности, внутри отдельного слоя плотность может быть постоянной или переменной). Задачи со сложным распределением масс характеризуют слоисто-блоковые распределения масс (в т.ч. с локальными включениями) и наиболее адекватны реальным условиям. Ниже будет рассматриваться только первый тип задач, чаще всего встречающийся при поисках и разведке рудных месторождений, являющийся наиболее простым в теоретическом плане.

Применительно к решению обратных задач гравиразведки рудного типа в конечноэлементных классах источников поля с известными значениями эффективной плотности в середине 70-х годов с небольшим разрывом во времени выходят работы А.В. Овчаренко [4] и В.Н. Страхова в соавторстве с М.И. Лапиной [5]. В этих работах были предложены принципиально новые алгоритмы, не связанные с классическими методами решения условно-экстремальных задач, которые В.Н. Страхов предложил называть монтажными. Сущность этих алгоритмов составляет неразрывное единство конечноэлементного способа описания геоплотностной среды и специального способа построения аномалиеобразующих тел в классе соответствующих моделей, не связанного с нелинейными методами многомерной оптимизации. Монтажный метод является инструментом для реализации аддитивных технологий количественной интерпретации материалов гравиразведки и магниторазведки [1].

При конечноэлементном моделировании разреза (вертикальной плоскости  $XOZ$ ) используется представление этой плоскости совокупностью правильных замкнутых многоугольников (элементов замощения)  $\omega$ , плотно прилегающих друг к другу по целой стороне; конфигурационным распределением масс называется распределение масс постоянной плотности  $\sigma$  по области  $\Omega$ , являющейся объединением некоторого числа элементов замощения  $\omega$ . Например, элементами  $\omega$  могут являться бесконечные по простиранию стержни квадратного сечения (в 2D варианте) или кубы (в 3D варианте), размеры которых задаются интерпретатором. Некоторые типы регулярных 2D замощений представлены на рис. 1.

Основные операции в классе конфигурационных распределений масс выполняются с использованием понятий ядра  $Я[\Omega]$ , оболочки  $O[\Omega]$ , внутреннего ядра  $Я_0[\Omega]$  и границы  $\Gamma[\Omega]$  конфигурации  $\Omega$ :  $Я[\Omega]$  – суть множество элементов  $\omega_\alpha \in \Omega$ ;  $O[\Omega]$  – множество всех элементов  $\omega_\alpha \notin Я[\Omega]$ , граничащих с элементами ядра  $Я[\Omega]$ ;  $Я_0[\Omega]$  – множество элементов  $\omega_\alpha \in \Omega$ , граничащих только с элементами этого же ядра;  $\Gamma[\Omega]$  – множество элементов  $Я[\Omega]$ , не вошедших в  $Я_0[\Omega]$ .

В простейшей постановке обратной задачи для изолированного тела  $S$  известной плотности  $\sigma$ , монтажный принцип решения обратной задачи состоит в том, чтобы, отправляясь от заданной связной конфигурации  $\Omega^0$  (в этой роли может выступать единственный элемент  $\omega_0$  – центр кристаллизации), выстроить конечную последовательность  $\Omega^0, \Omega^1, \Omega^2, \dots$ , имеющую пределом некоторую

односвязную конфигурацию  $\Omega^*$ , поле которой  $\Delta g^*$  при подобранной плотности  $\sigma^* \cong \sigma$ , достаточно близко к заданным значениями гравитационного поля  $\Delta g$ :  $\|\Delta g - \Delta g^*\| \leq \varepsilon$ . Поясним, что в монтажных алгоритмах связность помогает разделять в геологическом пространстве области, занятые массами с различными значениями физического параметра. Односвязность аномалиеобразующих тел предполагает отсутствие в них пустот.

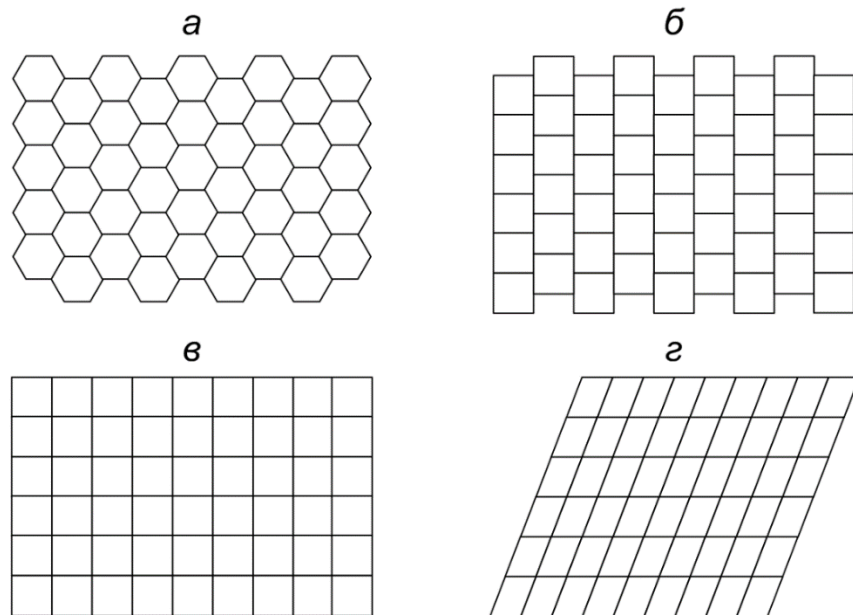


Рис. 1. Некоторые типы регулярных замощений плоскости  $XOZ$ : а – шестиугольниками; б, в, г – четырехугольниками.

В модификации регулируемой направленной кристаллизации (РНК) очередное приближение  $\Omega^n$  образуется путем внесения в ядро  $Я[\Omega^n]$  какого-то одного элемента из  $O[\Omega^{n-1}]$ , обеспечивающего наименьшую среднеквадратическую невязку подбора. Таким образом, при выполнении итерации с номером  $n$  реализуется принцип *локально-оптимального выбора* наилучшего варианта из конечного множества моделей аномалиеобразующего тела. При переходе от конфигурации  $\Omega^{n-1}$  к конфигурации  $\Omega^n$  учитываются основная априорная информация, которой располагает интерпретатор о местоположении, форме и размерах аномалиеобразующих тел. Известный параметр эффективной плотности  $\sigma^*$  при этом переводится в число свободных (оптимизируемых).

Используя простейшие логические операции с индексами  $\alpha$  элементов замощения  $\omega_\alpha \in \Gamma[\Omega]$  можно легко осуществлять эффективный контроль за соблюдением различных априорных ограничений, в том числе: на область, заведомо содержащую источник поля  $\Omega^*$  и заведомо не содержащую его; на минимально и максимально возможные глубины залегания кровли и подошвы аномалиеобразующего объекта  $\Omega^*$ ; на его вертикальную и горизонтальную мощности объекта, а также на степень гладкости поверхности объекта  $\Omega^*$  и т.д.

1. Метод РНК, если его рассматривать как специализированный метод решения определенного класса экстремальных задач, обладает некоторым сходством с методами минимизации нулевого порядка, т.к. не использует вычисления производных минимизируемой функции. Вместе с тем, метод РНК имеет пять важных особенностей, перечисленных ниже.

2. В итерационном процессе используется такой необычный для классических методов решения условно-экстремальных задач прием, как перевод *известного параметра* – эффективной плотности  $\sigma^*$ , в число *оптимизируемых*.

3. Критерием завершения итерационного процесса является значение эффективной плотности (оптимизируемой переменной)  $\sigma^* \cong \sigma$ , а достигнутое значение невязки  $\varepsilon$  является лишь индикатором для отнесения построенного решения  $\Omega^*$  к допустимым.

4. Первоначальная конфигурация  $\Omega^0$  (starting model), в предельном случае это единичный элемент замощения  $\omega_0$ , может быть весьма далека геометрии и по эффективной плотности  $\sigma^0$  от искомого аномалиеобразующего тела  $S$ . Благодаря тому, что эффективная плотность  $\sigma$  в методе РНК является свободным параметром, удастся довольно быстро подобрать эффективную массу и с первых шагов итерационного процесса выйти на достаточно малые значения невязки  $\varepsilon^*$  наблюдаемого и модельного полей.

5. Отсутствие привычного представления о размерности условно-экстремальной задачи, которая остается неизменной на протяжении всего итерационного процесса. В методе РНК корректным является понятие «плавающей» размерности задачи на шаге итерационного процесса, подразумевая, что это число элементов замощения из  $O[\Omega^{n-1}]$ , непосредственно участвующих в оптимизации на итерации  $n$ . "Плавающая" размерность – это одно из достоинств метода РНК, благодаря которой он в меньшей мере подвержен "проклятию размерности", которое по Р. Беллману [6] негативно влияет на численное решение всех нелинейных многоэкстремальных задач.

6. Нелинейная по постановке обратная задача становится линейной. Если считать, что роль вектора геометрических параметров в описании модели возмущающего объекта здесь играет множество  $\alpha$  индексов элементов замощения  $\omega_\alpha$ , составляющих ядро конфигурационного носителя  $\Omega$ , то  $\Delta g(\alpha_1 \cup \alpha_2) = \Delta g(\alpha_1) + \Delta g(\alpha_2)$ .

Остановимся на первой особенности, которая существенно предопределяет процесс построения решения обратной задачи, т.к. повышает «чувствительность» метода РНК при выборе локально-оптимальных конфигураций  $\Omega^i, i = 0, 1, \dots, n$ . Для этой цели используем простой синтетический пример. Рассмотрим плоскую обратную задачу гравirazведки, в которой аномалия  $\Delta g$  обусловлена телом  $S$  эффективной плотности  $\sigma = 0.25$  г/см<sup>3</sup> (рис. 2). Интерпретация осуществляется по точным значениям гравитационного поля, заданным с шагом 250 м на горизонтальном профиле длиной 7 км.

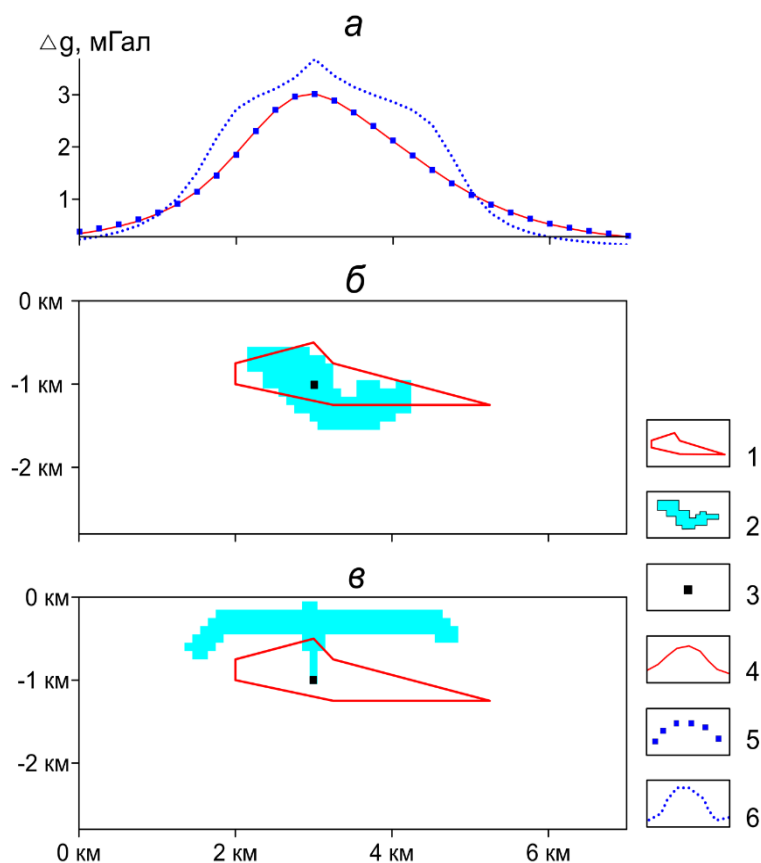


Рис. 2. Гравитационное поле (а) и результаты решения обратной задачи: по методу РНК (б) и по "аналогу" метода РНК (в):

1 – аномалиеобразующее тело  $S$ ; 2 – решение обратной задачи  $\Omega^*$ ; 3 – нулевое приближение  $\Omega^0$  (центр кристаллизации); 4 – гравитационное поле, полученное путем решения прямой задачи гравиразведки для тела  $S$ ; 5 – модельное поле от конфигурации  $\Omega^*$ , построенной по методу РНК; 6 – модельное поле от конфигурации  $\Omega^*$ , построенной по "аналогу" метода РНК.

Априорная информация сводится к ограничению на максимально допустимую глубину погружения нижней кромок тела (не более 1.5 км) и заданию достаточно широкой прямоугольной области  $D$ , гарантированно содержащей возмущающий объект.

На рис. 2.б и 2.в приводятся решения обратной задачи  $\Omega^*$  (на базе регулярного замощения с квадратными элементами), построенные по методу РНК и по его "аналогу". "Аналог" отличается от метода РНК одним элементом алгоритма – на всех итерациях  $n$  и на всех пробных шагах, выполняемых внутри каждой из итераций, оптимизация эффективной плотности масс, распределенных по модельному носителю, не выполняется. Везде берется истинное значение эффективной плотности –  $0.25 \text{ г/см}^3$ . Рис. 3 иллюстрирует важную характеристику итерационных процессов – функцию изменения достигнутой невязки  $\varepsilon^*$  с ростом номера итерации  $n$ . Показано, как эти функции соотносятся с информацией о качестве решения обратной задачи в виде задания порогового значения невязки, равного  $0.05 \text{ мГал}$  (черная пунктирная линия).

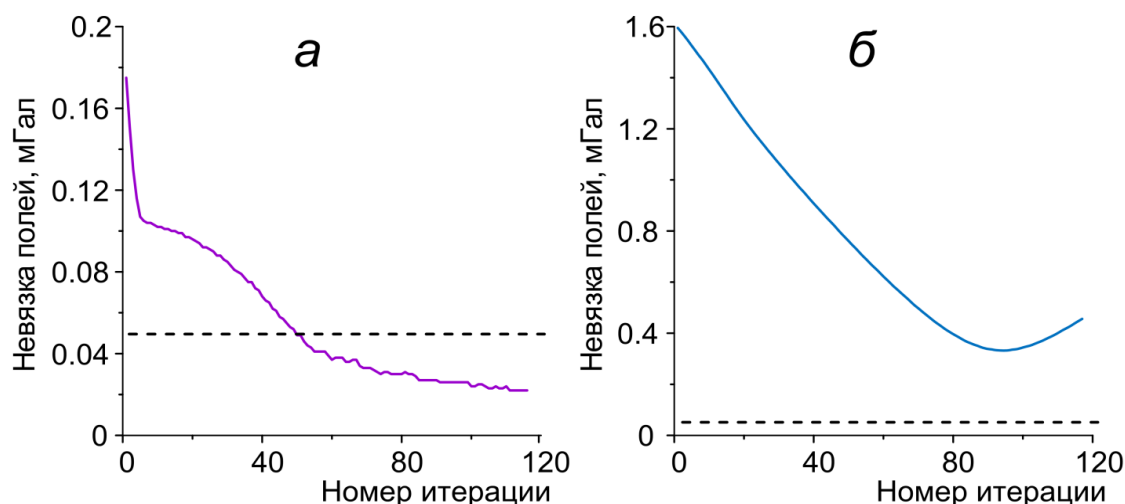


Рис. 3. Графики изменения невязки  $\varepsilon^*$  с увеличением номера итерации  $n$ :

$a$  – по методу РНК;  $b$  – по "аналогу" метода РНК.

Примечание: черный пунктир – пороговое значение невязки полей.

В поддержку приема с раскрепощением известного параметра – эффективной плотности, и перевода его в число оптимизируемых мы даже не станем особо акцентировать внимание на том, сколь существенно отличаются собственно результаты решения по этим двум сопоставляемым методам. Это вполне очевидно. Ограничимся анализом близости «наблюденного» и модельного полей, т.е. значениями невязки  $\varepsilon^*$ . В случае метода РНК итоговая невязка в евклидовой метрике равна 0.020 мГал (0.6% от амплитуды аномалии). В случае "аналога" метода РНК нельзя вообще говорить о достигнутой невязке – ведь критерий останова итерационного процесса, аналогичный тому, что есть в методе РНК, здесь не был достигнут. Можно заметить, что «аналог» метода РНК, начиная уже с первых шагов  $n$ , стремился понизить невязку за счет включения в ядра текущих приближений  $\Omega^i$  приповерхностных элементов замощения.

На рис. 2.6 приведено приближение  $\Omega^*$  на шаге  $n$ , при выполнении которого "аналог" метода РНК вышел на истинную эффективную (избыточную) массу тела. Если позволить "аналогу" РНК проделать все 120 итераций, то окажется, что минимальное из достигнутых значений невязки равно 0.253 мГал (8.3% от амплитуды аномалии). Таким образом, если бы интерпретатор в качестве приемлемой невязки назвал любое значение невязки менее 0.253 мГал, то вопрос о существовании допустимых решений задачи "аналог" метода РНК оставил бы открытым. Метод РНК не только отвечает на этот вопрос утвердительно, но и позволяет построить одно из возможных решений, достаточно хорошо совпадающее с аномалиеобразующим объектом  $S$ .

Следует добавить, что существуют и другие алгоритмы решения обратной задачи гравirazведки в классе 3D конечноэлементных моделей, в которых пошаговая оптимизация эффективной плотности не используется. В алгоритме российских ученых, включенным в состав ГИС INTEGRO [3], используются контроль за эволюцией модели и групповые операции с элементами замощения  $\omega$ . Зарубежные ученые также осуществляют систематическое тестирование каждого варианта роста модели в сочетании со статистическими оценками

промежуточных результатов с помощью ковариационной матрицы оптимальных оценок значений геометрических параметров [7]. К сожалению, результаты сравнения эффективности указанных выше алгоритмов и метода РНК в настоящее время отсутствуют.

Метод РНК – это лишь одна из математических форм воплощения концепции монтажных алгоритмов. Он служит примером того, как отказавшись от практики заимствования классических методов минимизации из вычислительной математики можно заметно поднять информативность результатов интерпретации за счет проблемно-ориентированных алгоритмов решения условно-экстремальных задач.

#### **Библиографический список**

1. Балк П.И., Долгаль А.С. Аддитивные технологии решения обратных задач гравirazведки и магниторазведки. М.: Научный мир, 2020. 455 с.
2. Гравirazведка. Справочник геофизика. Под ред. Е. А. Мудрецов. М.: "Недра". 1981. 398 с.
3. Мицын С.В., Большаков Е.М. Монтажный метод в ГИС INTEGRO и его использование для решения обратной гравитационной задачи // Геоинформатика. 2021. № 3. С. 36–47.
4. Овчаренко А.В. Подбор сечения двумерного тела по гравитационному полю // Вопросы нефтяной и рудной геофизики. Алма-Ата: Изд-во Казахского политехн. ин-та. 1975. Вып. 2. С. 71–75.
5. Страхов В.Н., Лапина М.И. Монтажный метод решения обратной задачи гравиметрии // Доклады Академии наук. 1976. Т. 227. № 2. С. 344–347.
6. Bellman. R. Adaptive control processes: a guided tour. Princeton University Press. 1961. 255 p.
7. Camacho A.G., Montesinos F.G., Vieira R. Gravity inversion by means of growing bodies // Geophysics. 2000. Vol. 65. № 1. p. 95–101.
8. Долгаль А.С., Петросян Р.Н. Решение обратной задачи гравirazведки для 2d призматических тел методом статистических испытаний // Вестник Пермского университета. Геология. 2021. Т. 20. № 4. С. 334–343.



## **ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ГРУППОВЫХ ЗОНДИРОВАНИЙ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ПАЛЕОКАРСТА И ТОЛЩ КАРСТУЮЩИХСЯ ПОРОД**

В публикации затрагивается тема применения методов электроразведки при исследовании закарстованного района, с целью определения наличия негативных факторов для строительства на примере сопоставления классического метода вертикального электрического зондирования и метода групповых зондирований, являющихся модификацией классического метода. Метод групповых зондирований является альтернативой методу электрофотографии и имеет ряд определенных отличий. Рассмотрены результаты интерпретации полученных данных.

**Ключевые слова:** Электроразведка, вертикальное электрическое зондирование, групповые зондирования, удельное электрическое сопротивление, карст.

**A.A. Zubrikov**  
zubrikoff92@gmail.com

## **APPLICATION OF THE METHOD OF GROUP SOUNDING IN THE STUDY OF PALEOKARST AND SEQUENCES OF KARSTING ROCKS**

The publication touches upon the topic of using electrical exploration methods in the study of a karst area, in order to determine the presence of negative factors for construction, using the example of comparing the classical method of vertical electrical sounding and the method of group sounding, which are a modification of the classical method. The group sounding method is an alternative to the electrophotography method and has a number of specific differences. The results of interpretation of the received data are considered.

**Keys words:** Electrical exploration, vertical electrical sounding, group soundings, electrical resistivity, karst.

В современном мире существует необходимость проведения геофизических изысканий при проведении реконструкции и строительстве водопроводов на предмет наличия карстовых полостей на участке реконструкции, с целью обеспечения гарантии на проведенные работы. В связи с этим встает выбор метода проведения изысканий, одним из экономически обоснованных методов является электроразведка.

Целью данных работ являлось выявление глубины кровли карстующихся пород. Предпосылками проведения данных работ являлось наличие карстового озера в непосредственной близости к объектам реконструкции. При данных работах были задача выполнить наземные геофизические исследования методом вертикального электрического зондирования (ВЭЗ) в пределах контуров проектируемых объектов [5] в соответствии с требованиями нормативных документов и выполнить интерпретацию полученных результатов. Дополнительно была возможность выполнить съемку многоэлектродной

установкой, методом ГЗ, позволяющие получить данные с достаточной плотностью и классическим подходом к интерпретации.

Метод электрического зондирования широко используется при решении многих геологоразведочных, инженерно-геологических [3], экологических [7] и других задач. При работах на объектах реконструкции часто используют метод вертикального электрического зондирования, как наиболее информативный при сопоставимых трудозатратах. Перспективным направлением его развития является разработка новых технологий, нацеленных на повышение оперативности и экономической эффективности ведения работ. Основное внимание при этом уделяется применению многоэлектродных установок с элементами электротомографии [1, 6], обеспечивающих возможность значительного ускорения процесса полевой съемки. Это ускорение процесса достигается в основном за счет использования системы равномерно расположенных (с постоянным арифметическим шагом, либо квазигеометрическим) электродов, выполняющих в заданной последовательности функцию питающих и приемных электродов, обеспечивая единообразие выполнения зондирований для разных пикетов измерительной установки.

Многоэлектродная установка представляет собой набор электродов фиксированного расположения, обеспечивающую возможность зондирования как линейной, так и площадной территории. Данная модификация является частным случаем классического метода вертикального электрического зондирования (ВЭЗ), при этом обладает расширенными возможностями при выполнении исследований в сложных условиях (повышенная закарстованность, наличие леса, наличие мерзлых грунтов, асфальтовых покрытий и мн. др.), особенно при исследовании геоэлектрического разреза до первых сотен метров.

Методика групповых зондирований (ГЗ) используется за основу многоэлектродные установки (косы) с системой как парных, так и равномерно расположенных электродов, которые в процессе зондирования выполняют как функцию приемных, так и функцию питающих электродов независимо от программы измерений. А также возможно использовать принцип электротомографии. На сегодняшний день реализована возможность использовать любые установки ВЭЗ и электропрофилирования [2].

В основе методики измерений ГЗ лежат две трех-электродные установки («прямая» и «встречная»), позволяющие производить двойное зондирование в центральной части косы для уточнения результата и учета приповерхностных неоднородностей. В дополнение к трех-электродным установкам реализуема возможность съемки и четырех-электродной установкой для той же точки зондирования и отождествлённой глубины зондирования. Все полученные данные сохраняются в памяти измерителя и после завершения съемки могут оперативно сохраняться в компьютере для экспресс-анализа исследованной территории.

Полевые наблюдения методом ВЭЗ проводились с использованием четырех-электродной установкой Шлюмберже точно с помощью

аппаратурно-программного комплекса АМС-1. Для получения данных о геоэлектрическом строении участка работ выполнена съемка ВЭЗ на 50 пикетах пикетах по профилю исследования. Полуразносы ( $r$ ) питающей линии находились в диапазоне от 7 до 200 м с геометрическим шагом примерно  $r_{j+1}/r_j = 1,4$ . В рамках этих работ использовались две приёмные линии длиной 4 и 20 м. Измерения проводились с силой тока от 2 мА до 10 мА при частоте 4,88 Гц. Схема взаимного расположения пикетов ВЭЗ и ГЗ приведена на рисунке 1.

Полевые наблюдения методом ГЗ проводились с использованием аппаратурно-программного комплекса АМС-1, который был дополнен совместимым комплектным коммутатором и набором кос с электродами. Измерения выполнены по одному профилю, общее число наблюдаемых пикетов составило 45.



Рис. 1. Схема расположения точек ВЭЗ и профиля ГЗ

Интерпретация [4] полученных результатов производилась в автоматическом комплексе «ЗОНД», позволяющий получать как качественную, так и количественную интерпретацию полученных результатов.

По результатам качественной интерпретации данных ВЭЗ построены карты кажущихся сопротивлений (КС) для исследуемого профиля, отображающий общий характер распределения электрического сопротивления с глубиной. Разрез по распределению КС условно можно разделить на три геоэлектрических комплекса. Первый и третий комплексы (юг участка, и север участка соответственно) являются относительно низкоомными, пределы изменения КС составляют от 74 до 135 Ом\*м. Второй геоэлектрический комплекс (центральная часть участка) является относительно высокоомным, пределы изменения КС здесь составляют 200 – 990 Ом\*м. Данная особенность, вероятно, стоит

связывать с строением данного участка. Возможно наличие реликтового поднятия в центре участка (рис. 2).

В результате количественной интерпретации получены карты удельного электрического сопротивления. Благодаря привлечению априорной информации в виде разреза по скважинам, находящихся в пределах исследуемой области, было выделено три геоэлектрических слоя.

Первый слой выражен песками (значения сопротивления составило в среднем 450-650 Ом м). В западной и северо-западной части исследуемого участка наблюдается аномальная область, которую можно приурочить к береговой части. Возможно, в данной части участка, наличие карстовых полостей, т.к. озеро имеет карстовое происхождение.

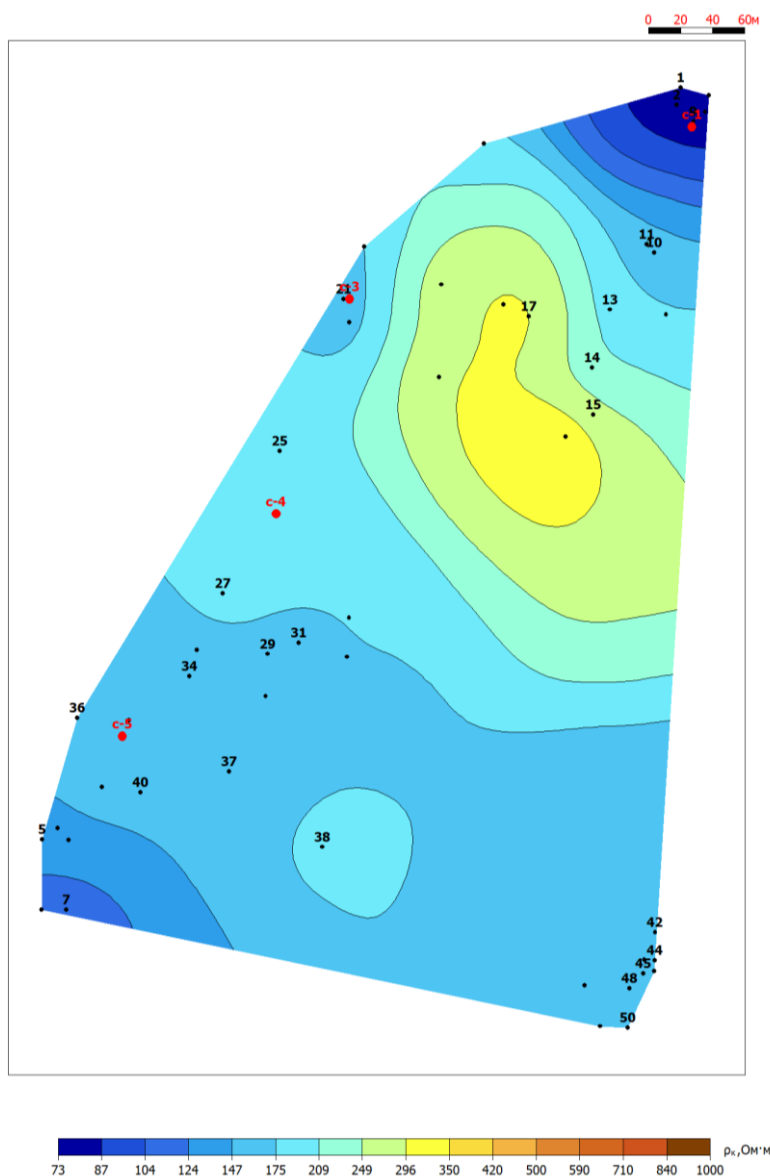


Рис. 2. Карта кажущегося сопротивления для разноса  $AB/2 = 100$  м

Второй геоэлектрических слой (сопротивление 50-200) выражен, вероятно, глинами, песчаником и известняками. Имеет зону повышенных значений в центре участка. Данную особенность стоит приурочить к строению. Если

обратить внимание на структурную карту для опорного слоя (рис. 3), то можно сопоставить данную область с поднятием. Вероятно, имеется реликтовое поднятие в данной области.

Опорный геоэлектрический слой имеет высокую дифференциацию по сопротивлению, данный факт стоит связать с интенсивной сменой состава пород, исходя из априорной информации. Наиболее критичным стоит отметить участок, тянувшийся с запада на юг, который может быть связан с карстовыми процессами.

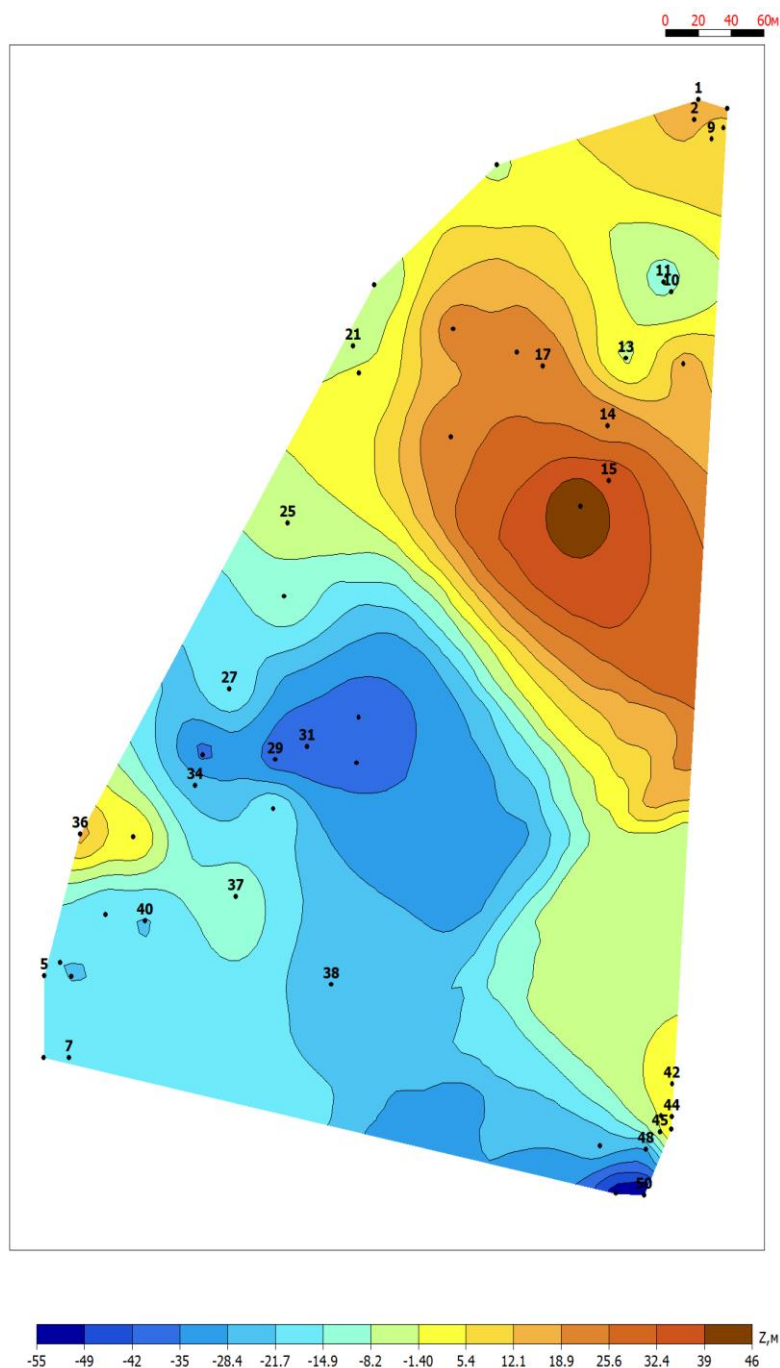


Рис. 3. Структурная карта для опорного геоэлектрического слоя по данным электрометрии

По результатам качественной интерпретации данных групповых зондирований отмечается зона повышенных сопротивлений в интервале ПК 14-30 на глубине ориентировочно 60-80 м (рис. 4). Стоит отметить однородность

полученных данных, исключая приповерхностные неоднородности. Данная особенность согласуется с результатами данных ВЭЗ, что подтверждает эффективность использования многоэлектродных установок, с целью детализации отдельных областей исследования.

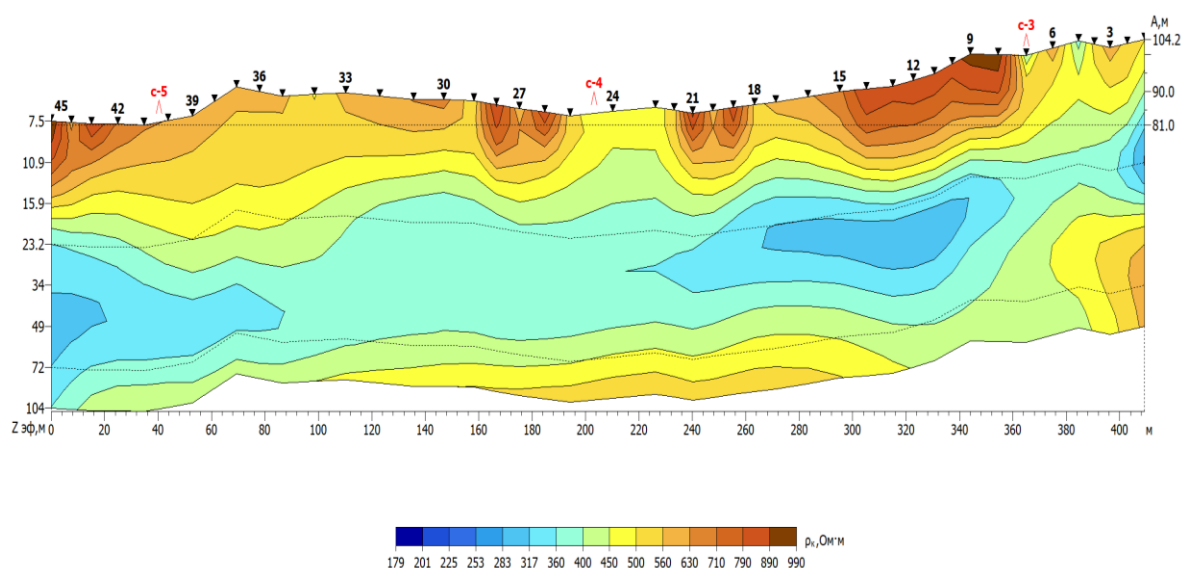


Рис. 4. Разрез кажущегося сопротивления по данным групповых зондирований

Резюмируя все выше сказанное, можно отметить информативность метода групповых зондирований и перспективность его использования с целью определения зон карстоопасности.

#### Библиографический список

1. Бобачев А.А., Марченко М.Н., Модин И.Н., Перваго Е.В., Урусова А.В., Шевнин В.А. Новые подходы к электрическим зондированиям горизонтально-неоднородных сред // Физика Земли. 1995. № 12. С. 79–90
2. Зубриков А.А., Карпов С.Б., Колесников В.П. О совершенствовании метода группового зондирования на основе физического моделирования // Геология и полезные ископаемые Западного Урала. 2021. № 4 (41). С. 177-183.
3. Зубрикова Е.С., Тайницкий А.А. Оценка результатов электроразведочных мониторинговых наблюдений // Горное эхо. 2021. № 4 (85). С. 56-60. Москва, 2021. С. 75.
4. 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.
5. Мелькановицкий И.М. Региональные геофизические исследования гидрогеологических условий артезианских бассейнов. М.: Недра, 1975. 121 с
6. Dahlin T., Zhou B. Multiple-gradient array measurements for multichannel 2D resistivity imaging // Near Surface Geophysics. 2006. P. 113–123., Loke M.N., Barker R.D. Practical techniques for 3D resistivity surveys and data inversion // Geophysical Prospecting. 1996. № 44. P. 499–523,
7. Tainickiy A.A., Stepanov Ju.I., Luchnikov M.S., Bushueva E.S. Inspection of the sludge tank dam using electrical exploration // В сборнике: 17th Conference and Exhibition Engineering and Mining Geophysics 2021. 17. 2021.



## **РАЗРАБОТКА АППАРАТУРНО-ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ НАЗЕМНО-ПОДЗЕМНОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ЗОНДИРОВАНИЯ**

В данной работе рассмотрены результаты исследований по формированию аппаратурно-программного комплекса для развиваемого метода наземно-подземного электромагнитного зондирования и обеспечения необходимой достоверности и экономической эффективности результатов наблюдений с учетом специфических особенностей практического его применения. Для этого на основе численного и спектрального анализа наблюденного поля разработан ряд аппаратурных и программных модулей, обеспечивающих синхронизацию во времени функционирования наземного источника с выполнением шахтных наблюдений, а также визуальный контроль формы и значений используемого набора рабочих частот при заданном режиме полевой съемки. Результаты экспериментальных работ, выполненных данным комплексом с использованием программы качественной экспресс-интерпретации, показали технологичность и перспективность практического его применения для контроля физического состояния водозащитной толщи пород в условиях соляного месторождения.

**Ключевые слова:** Электромагнитное поле, наземно-подземное зондирование, рабочие частоты, аппаратурно-программный комплекс.

**V.P. Kolesnikov<sup>1</sup>, S.B. Karpov<sup>2</sup>, T.A. Laskina<sup>3</sup>**

<sup>1,2</sup> Perm State University, vp@uralgeopole.ru, sbkarpov@psu.ru

<sup>3</sup> Uralgeopole, tl@uralgeopole.ru

## **DEVELOPMENT OF HARDWARE-SOFTWARE COMPLEX FOR SUR- FACE-TO-MINE ELECTROMAGNETIC SOUNDING**

Results of the research to develop hardware-software complex for surface-to-mine-electromagnetic sounding have been considered in the paper taking into account its effectiveness, informativeness and peculiarities of its practical implementation. On the base of physical, numerical and spectral analysis the hardware and software modules have been developed to provide synchronization of the transmitter and receiver, visual inspection of the measured signal including its frequency structure and amplitudes during the field survey with specified parameters. Results of the experimental surveys with the use of the developed hardware-software complex show technological effectiveness and prospects of its practical implementation to control physical state of the waterproof strata under the conditions of a salt deposit.

**Key words:** Electromagnetic field, surface-to-mine sounding, operating frequencies, hardware-software complex.

### **Введение**

Одной из актуальных задач при отработке соляных месторождений является осуществление надежного контроля физического состояния водозащитной толщи пород (ВЗТ). Основная причина этого заключается в высокой

растворимости соляных пород, при которой любое проникновение слабоминерализованных вод в шахты, вызванное природными и антропогенными факторами, приводит к образованию подземных карстовых полостей, сопровождаемых просадками и провалами земной поверхности [5,6]. Как показывает практика и многолетний опыт работ, это требует разработки новых методов, наиболее чувствительных к состоянию нарушенности этой части пород [4,6].

Одним из перспективных в этом направлении является метод наземно-подземного зондирования (НПЗ), обладающий потенциальными возможностями существенного повышения контрастности отображения аномальных зон, расположенных в области надштрековой водозащитной толщи пород в силу значительного приближения точек измерений поля к исследуемому объекту [1,2,3]. НПЗ представляет собой электромагнитное зондирование геологической среды при расположении источника электромагнитного поля на земной поверхности и регистрации сигнала в пределах шахтных выработок (или наоборот – его модификация – подземно-наземное зондирование, ПНЗ).

Практическая реализация данного нетрадиционного метода требует проведения специального комплексного анализа, включающего разработку физико-математического и программного обеспечения для интерпретации результатов наблюдений, создание специального аппаратурно-программного обеспечения и рациональной технологии выполнения полевых измерений.

В итоге ранее выполненных исследований [7] разработан приближенный способ истолкования результатов наблюдений методом НПЗ, обеспечивающий возможность получения экспресс-информации о наличии зон повышенной нарушенности водозащитных свойств пород надштрековой части разреза, показавший результативность и перспективность его развития.

Одной из важных задач в реализации данного метода является разработка аппаратурно-программного обеспечения, наиболее учитывающего специфику и особенности практического применения данного метода в условиях наземно-шахтных измерений с обеспечением необходимой информативности, оперативности и контроля достоверности результатов полевых наблюдений.

### **Аппаратурно-программное обеспечение работ**

Для выполнения работ методом НПЗ разработан аппаратурно-программный комплекс АНПЗ-1, состоящий из генератора, измерителя и программного обеспечения для настройки параметров, синхронизации блоков и регистрации данных. Для реализации генераторной установки используются: 1) генератор АНПЗ-1; 2) аккумулятор RT-L150PRO-24; 3) катушки с проводом (питающая линия АВ длиной 1000 м); 4) электроды негальванического заземления (набор для группового заземления).

Генератор электромагнитного поля АНПЗ-1 характеризуется максимальной силой тока 2 А при диапазоне основных частот генерируемого сигнала от 0.15 до 5125 Гц. Реализована возможность применения сигнала с одной основной частотой и ее гармониками, а также широкополосного полигармонического сигнала с тремя основными частотами и их гармониками, что значительно

повышает эффективность полевых работ. Также предусмотрена возможность формирования поля на основе автоматически задаваемой последовательности сигналов с одной основной частотой. Генератор может быть использован для работы с заземленной питающей линией как на поверхности, так и в условиях шахтных выработок. Предусмотрена возможность автономной работы генератора в заданный период времени (7–8 часов) с автоматическим отключением после завершения генерации запрограммированной последовательности сигналов.

Измеритель АНПЗ-1 (рис. 1) включает трехкомпонентный преобразователь индукции переменного магнитного поля НВ0107.10/3 (с рабочим диапазоном частот 3-10000 Гц), аналого-цифровой преобразователь L-Card E440, блок питания, ноутбук с программным обеспечением для синхронизации с генератором и регистрации магнитного поля (составляют в совокупности по весу не более 3 кг). При использовании разработанного измерительного комплекса обеспечивается достаточно высокая частота дискретизации регистрируемого сигнала (до 50 кГц).

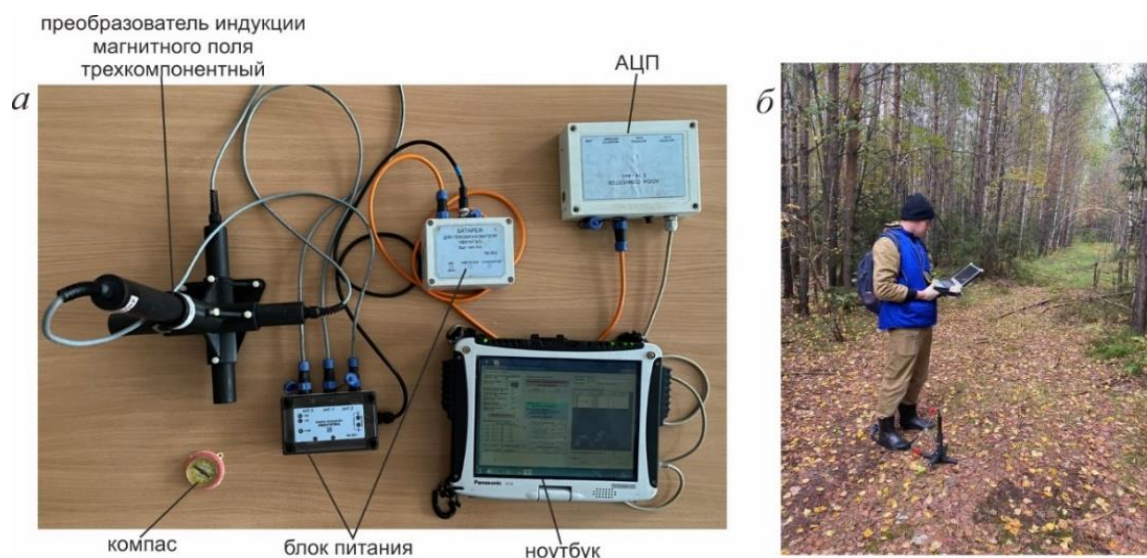


Рис. 1. Аппаратура и оборудование для регистрации магнитного поля (а) и процесс полевой съемки методом ПНЗ (б)

Разработанное программное обеспечение комплекса АНПЗ-1 позволяет выполнять настройку генератора и измерителя: выбирать режим генерации поля, задавать количество и значения используемых частот, время генерации каждой из них, длительность паузы для перехода между пикетами; а также осуществлять их синхронизацию по времени.

Одной из основных трудностей в процессе полевых наблюдений является сложность контроля синхронизации генератора и измерителя ввиду расположения одного из них на поверхности, а другого – в шахте. С целью осуществления контроля процесса полевой съемки в режиме реального времени реализован дополнительный программный модуль, позволяющий контролировать форму регистрируемого сигнала и в оперативном режиме выполнять спектральный анализ регистрируемых данных (рис. 2). Визуализация

формы сигнала позволяет контролировать соотношение между компонентами магнитного поля и правильность подключения каналов АЦП, а также регулировать величину усиления. Результаты спектрального анализа позволяют контролировать корректность работы измерительного модуля, при этом наличие генерируемых частот в спектре регистрируемого сигнала свидетельствует о стабильности работы генератора и его синхронизации с измерителем.

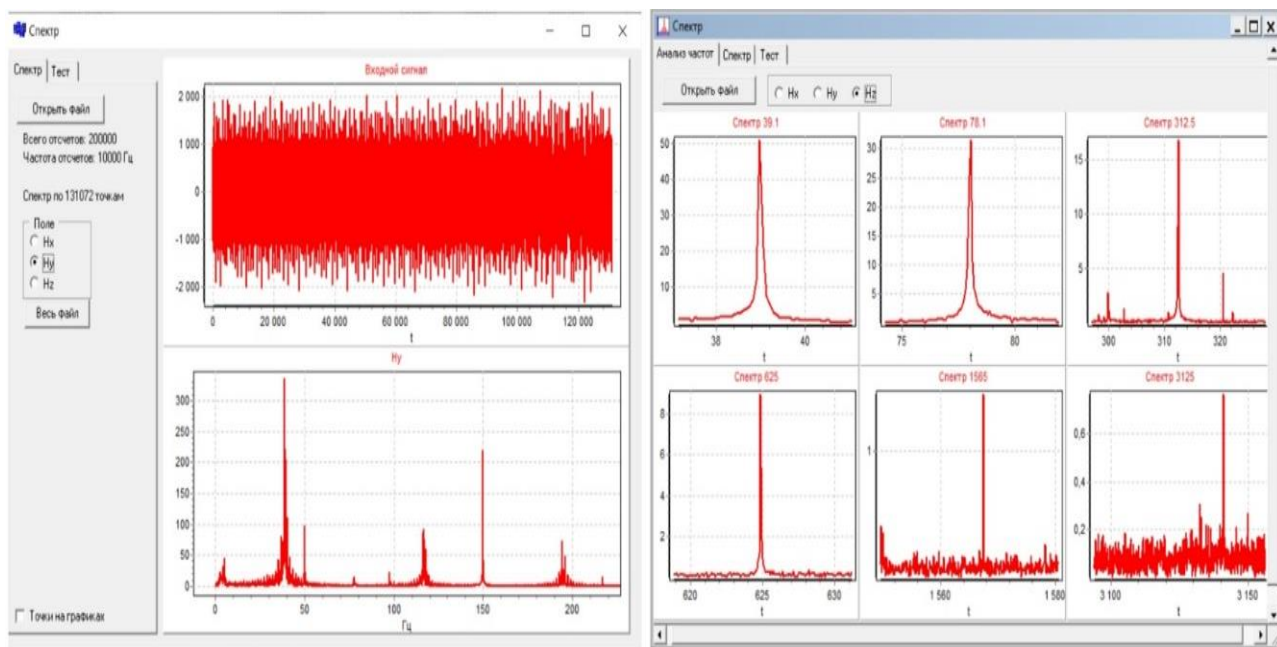


Рис. 2. Модуль контроля процесса полевой съемки

Дополнительные трудности в процессе полевых работ могут быть связаны с реализацией заземления электродов линии АВ в шахтных условиях в связи с высоким электрическим сопротивлением соляных пород. Одним из вариантов решения является использование стелющихся электродов с применением принципа группирования. Другой вариант решения заключается в использовании индуктивного источника поля в виде замкнутой петли при наличии такой возможности в пределах шахтных выработок.

Также реализована возможность одновременной съемки двумя измерительными модулями с целью повышения производительности (позволяет сократить количество спусков в шахту для обследования участка) и достоверности (за счет дублированной съемки на контрольных участках) предварительной идентификацией измерительных комплексов.

Общая схема съемки методом наземно-подземного зондирования с использованием разработанного аппаратного и программного обеспечения включает:

- 1) настройку аппаратного комплекса (до спуска в шахту);
- 2) установку источника электромагнитного поля на земной поверхности;
- 3) спуск в шахту и проведение профильных либо площадных наблюдений вдоль заданных штреков в пределах шахтного поля.

Настройка аппаратного комплекса, выполняемая в подготовительный перед съемкой период, содержит следующие операции:

а) выбор режима генерации электромагнитного поля (с одной рабочей частотой и ее гармониками; единовременной генерации набора из трех рабочих частот; последовательной генерации заданного набора рабочих частот);

б) задание необходимых значений частот из общего их набора, заложенного в аппаратный комплекс, на основе предварительного анализа параметрических зондирований для обследуемого участка;

в) задание величины шага дискретизации измеряемого поля (от 10 до 50 кГц) и интервала времени регистрации сигнала каждой из частот на одном пикете (от 20 до 60 с);

г) выполнение синхронизации по времени измерительного и генерируемого аппаратных модулей;

д) задание интервала времени для перемещения оператора между соседними пикетами (в аппаратуре предусмотрено автоматическое отключение генератора во время перехода на очередной пикет для обеспечения экономичности использования источника питания (в два 2-3 раза по сравнению с вариантом непрерывной генерации поля в течении полевой съемки)).

Реализация генераторной установки на земной поверхности включает:

а) подготовку питающей линии АВ;

б) подключение генератора к питающей линии и задание необходимой величины тока путем формирования оптимальных значений переходного сопротивления заземлений питающей линии R;

в) запуск генератора в заданное, синхронизированное с измерителем, время начала наземно-подземных наблюдений (процесс генерации может выполняться в автоматическом режиме без участия оператора в течении 7-8 часов).

Шахтная съемка выполняется с регистрацией трех компонент магнитного поля ( $B_x$ ,  $B_y$ ,  $B_z$ ). Она начинается автоматически в заданное при начальной настройке аппаратного комплекса время с последующей визуализацией и контролем процесса измерений, а также оповещением о времени перехода на следующий пикет, с перемещением измерительного комплекса. При этом X-компонента магнитного датчика ориентируется вдоль направления питающей линии.

Аналогичный процесс осуществляется и для варианта подземно-наземного зондирования (ПНЗ), выполняемого при расположении источника в пределах шахтных выработок с проведением площадной съемки на земной поверхности.

При исследовании с фиксированным положением источника поля и использованием набора из шести частот генерируемого электромагнитного поля с длительностью генерации каждой из них 25 с и расстоянием между пикетами съемки 50 м время, необходимое для регистрации данных на одном пикете и для перехода на следующий, в целом составляет 5 минут. Таким образом, производительность работ составляет 12 точек в час при выполнении измерений одной бригадой из двух человек и может быть увеличена при одновременной съемке двумя бригадами по два человека до 24 точек в час.

### **Обработка наблюдаемых данных**

Данные, полученные в процессе полевых измерений, сохраняются в формате «survey.dat» и представляют собой временные ряды для трех каналов в отсчетах

АЦП на каждой точке наблюдения. Записи разделены на субпакеты в зависимости от частот генерации поля в соответствии с проводимым экспериментом. Также файлы содержат информацию о параметрах съемки (номер профиля и пикета, дата и время выполнения измерений, частота дискретизации сигнала, количество частот, коэффициент АЦП).

Алгоритмы обработки данных адаптированы к формату полевых записей, получаемых при использовании автоматической последовательности сигналов с разными частотами, и реализованы в программе FieldDetect. Это позволяет исключить необходимость конвертации данных и значительно повысить степень автоматизации процесса обработки.

Также усовершенствован способ выделения полезного сигнала с использованием принципа синхронного детектирования и автоматического выбора интервала записи с минимальным уровнем помех. Программа позволяет вычислять и отображать спектры сигналов компонент для каждого субпакета, а также проводить синхронное детектирование и фильтрацию субпакета на его рабочей частоте. Детектированный сигнал для каждой частоты эксперимента разбивается на сегменты, в каждом из них оценивается отношение «сигнал/шум» и выбирается сегмент с лучшими параметрами.

Результатом обработки являются амплитуды измеряемых компонент магнитного поля  $B_x$ ,  $B_y$ ,  $B_z$  и полного вектора магнитной индукции  $B$  для набора используемых частот на каждой точке наблюдения, которые далее используются для расчета интерпретационных параметров. Для оценки качества полевых данных используются такие параметры как относительное отклонение амплитуды и соотношение «сигнал/шум».

Экспорт полученных данных осуществляется в формате «data.dta» для их визуализации в программе Зонд, а также в «data.csv» для дальнейшей оценки параметра аномальности магнитного поля в программе ИНТЕР-1.

### **Пример полевых работ**

Процесс разработки и совершенствования рассмотренных выше результатов исследований сопровождался применением различных способов их тестирования, включая использования двух взаимно идентифицированных аппаратурно-измерительных комплексов с проведением экспериментальных исследований на контрольном участке, а также использования гальванического и индуктивного источников поля и сопоставление полученных данных с результатами численного моделирования.

Разработанный аппаратурно-программный комплекс и технология его применения для метода НПЗ были апробированы на ряде участков в пределах Верхнекамского месторождения калийных солей. Результаты экспресс-интерпретации по одному из них представлены на рисунке 3. В этом случае съемка была выполнена при расположении питающей линии АВ длиной 1 км в шахтной выработке на глубине 300 м. Возбуждение электромагнитного поля осуществлялось на шести частотах в диапазоне 20-1565 Гц. Регистрация проводилась на земной поверхности по сети профилей.



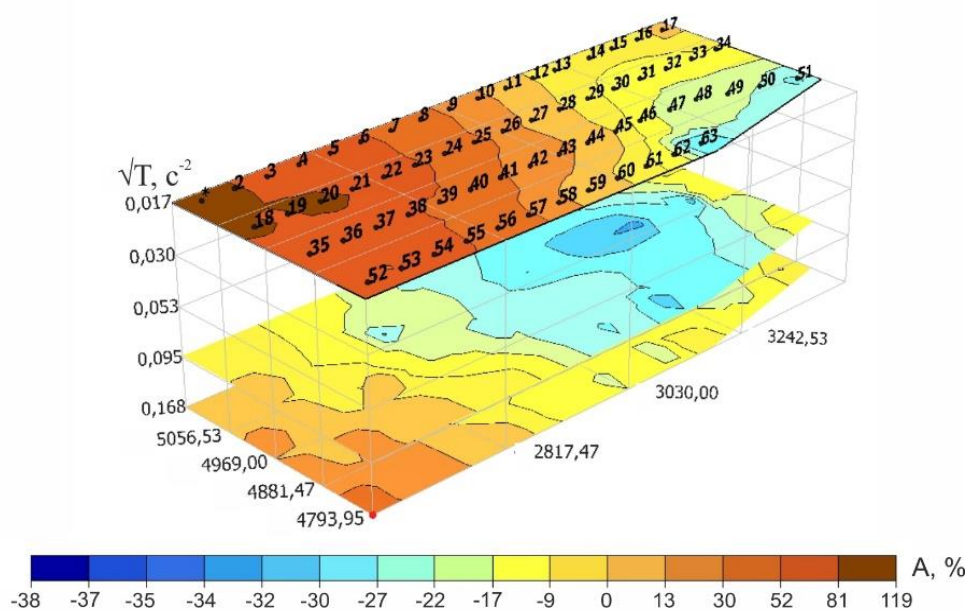


Рис. 3. Оценка параметра аномальности по данным полевых наблюдений

## Выводы

В итоге проведенных исследований создан *рабочий вариант* аппаратно-программного комплекса (АНПЗ-1) с программой качественной экспресс-интерпретации для контроля физического состояния ВЗТ. Результаты экспериментальных работ, выполненных на серии участков ВКМКС, показали перспективность практического его применения в условиях соляного месторождения, с возможностью проведения полевых наблюдений в сложных геоморфологических, физико-геологических и техногенных условиях.

## Библиографический список

1. Колесников В.П. Электрометрия. Теоретические основы методов электрометрии: учеб. пособие. – Пермь: Перм. гос. нац. исслед. ун-т., 2019, 263 с.
2. Колесников В.П., Ласкина Т.А. Разработка и реализация метода низкочастотного наземно-подземного зондирования // Вестник Пермского университета. Геология. 2018. Т.17, № 3. С.284-291.
3. Колесников В.П., Карпов С.Б., Ласкина Т.А. Результаты исследований по разработке аппаратно- программно- обеспечения для наземно-подземного электромагнитного зондирования // Вестник Пермского университета. Геология. 2022. Т.21, № 2. С.124-138.
4. Колесников В.П., Ласкина Т.А. Комплексный электроразведочный мониторинг процессов соляного карстообразования // Геофизика. 2020. №5. С. 39-49.
5. Anderson N.L., Brown R.J. Dissolution and deformation of rock salt, Stettler area, Southeastern Alberta // Canadian Journal of Exploration Geophysics. 1992. 28. P. 128-136.
6. Contrucci I., Klein E., Bigarre P., Lizeur A., Lomax A. and Bennani M. Management of Post-mining Large-scale Ground Failures: Blast Swarms Field Experiment for Calibration of Permanent Microseismic Early-warning Systems // Pure and Applied Geophysics. 2010. 167. P. 43-62.
7. Kolesnikov V.P., Laskina T.A. Assessment of the anomalous effect in electromagnetic field for surface-mine sounding. «Scientific research of the SCO countries: synergy and integration». Место проведения – Пекин, КНР, 15 сентября, 2021 г.

**А.В. Кузин, Я.А. Беленко,  
А.А. Мазухина, Е.Ю. Лобанов**  
Уральский государственный горный университет

## **ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РИФОВЫХ ИЗВЕСТНЯКОВ ПРЕДУРАЛЬСКОГО ПРОГИБА**

Приведены данные электроразведки методами сопротивлений для исследования структуры карбонатных рифовых построек. Чистые карбонатные разности известняков, кремнистые известняки, слоистые известняки обрамления рифовых построек существенно различаются по удельному электрическому сопротивлению. Кремнение рифовых построек представлено в виде линз, желваков серого аморфного кремня. Точки кристаллизации кварца в кремне, контактное метасоматическое замещение кремнем карбонатного цемента и микроорганизмов рифа свидетельствует о поступлении кремня в состав рифа в виде гидротерм.

**Ключевые слова:** электроразведка, рифовые постройки, кремнение.

**A.V. Kuzin, Ya.A. Belenko,  
A.A. Mazukhina, E.Y. Lobanov**  
Ural State Mining University, почта

## **GEOLOGICAL AND GEOPHYSICAL STUDIES OF REEF LIMESTONES OF THE PRE-URAL TROUGH**

The data of electrical exploration by resistance methods for studying the structure of carbonate reef structures are presented. Pure carbonate differences of limestones, silicified limestones, layered limestones framing reef buildings differ significantly in electrical resistivity. The silicification of reef structures is represented in the form of lenses, nodules of gray amorphous silicon. Quartz crystallization points in flint, contact metasomatic substitution of carbonate cement and reef microorganisms with flint indicates the entry of flint into the reef in the form of hydrotherms.

**Keywords:** electrical exploration, reef buildings, silicification.

В Предуральском прогибе известно несколько гряд рифовых известняков карбонового и пермского возрастов. На дневной поверхности они выглядят в виде гор-шиханов, могут являться объектами разработки известняков, геологическими памятниками природы, объектами научного исследования. Древние рифовые постройки имеют конусообразную морфологию, могут включать в свою структуру чистые разности известняков, кремнистые, битуминозные, перекристаллизованные, доломитизированные известняки, содержат многочисленные роды и виды ископаемой флоры и фауны [1, 2, 4]. Опыт проведения геофизических электроразведочных работ на рифовых массивах даёт сведения о различии удельного электрического сопротивления литологических разностей известняков, наличии тектонических разломов. Установленные по геофизическим данным элементы строения рифовой постройки позволяют целенаправленно отобрать образцы определенных литологических разностей известняков для палеонтологического и

минераграфического исследования, в частности, нами предпринята попытка исследовать генезис окремнения известняков.

Пример проявления окремненных известняков западного фланга шихана Шах-Тау вблизи г. Стерлитамак на графике значений кажущегося удельного электрического сопротивления ( $\rho_k$ ) установок метода срединного градиента (МСГ) приведен на рис. 1. Над полосой окремненных известняков мощностью 80 м (интервал 60-140 м) график  $\rho_k$  изрезанный, а над известняками внутренней части – плавный. Над слоистыми заглинизированными разностями известняков значения  $\rho_k$  минимальны.

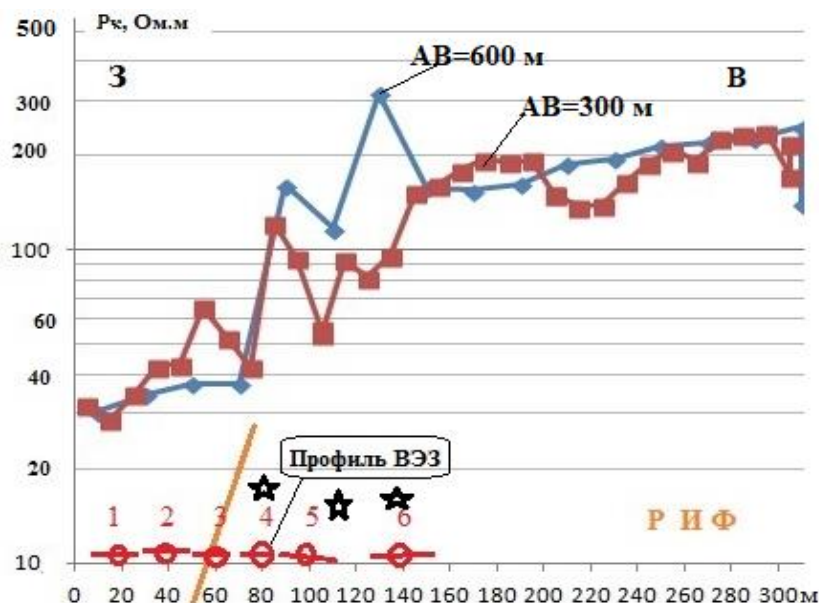


Рис. 1. Графики  $\rho_k$  измеренные установками метода срединного градиента с разностями питающих линий 300 и 600 м (глубина оценки  $\rho_k$  порядка 30 и 60 м) над слоистыми, окремненными и чистыми рифовыми известняками под 20-35-метровым слоем суглинков со значениями УЭС 20-42 Ом.м

По данным интерпретации шести кривых ВЭЗ, мощность перекрывающих известняки рифовой постройки суглинков неоген-четверичного возраста достигает 35 м. Этим объясняются относительно невысокие значения кажущегося УЭС над окремненными и чистыми известняками. По определению кажущегося удельного электрического сопротивления образцов из внешней окремненной и внутренней частей шихана значения  $\rho_k$  для первых составляет 5006 Ом.м, для вторых – 1426 Ом.м. При измерениях  $\rho_k$  полированной поверхности окремненных известняков двухэлектродной установкой АМ размером 1 см на разных участках образца получены значения сопротивления от 3100 до 7600 Ом.м. Это объясняется различным составом отдельных участков: обломки и хорошо сохранившиеся образцы фауны карбонатного состава, карбонатный аморфный цемент, участки окремнения. В образцах из внутренней части шихана разброс значений  $\rho_k$  на различных участках незначительный – от 1000 до 2100 ом.м. Они более однородные, скрытокристаллические, с редкими остатками фауны. Состав товарной массы известняков шихана на 99 % представлен кальцитом. Доля окремнения известняков внешней части шихана едва ли достигает 2-3 объемных процентов. По исследованию шлифа, аморфный кремний избирательно замещает мшанку и в ней же кристаллизуется в кварц.

На рифовой биогермной постройке, располагающейся на северной окраине Красноуфимска, в 0,8 км к западу от с. Приданниково, нами выполнена съёмка трёх планшетов площадной электроразведки методом срединного градиента (МСГ), сняты две кривые ВЭЗ. На планшетах МСГ размером 40x100 м установлены изменения  $\rho_k$  известняков в диапазоне от 300 до 2500 Ом.м. Глубина оценки значений сопротивления – порядка 25-35 м. Самые высокие значения кажущегося УЭС располагаются над выходом к поверхности полос окремненных известняков, располагающихся, как правило на склоне возвышенности – внешней части останца рифа. Над массивами неокремненных брахиоподовых, фузулиновых известняков рифа значения кажущегося УЭС известняков составляют первые сотни Ом.м.

На рис. 2 приведен план изолиний  $\rho_k$  на планшете МСГ над южной выклинкой рифовой постройки шириной порядка 80 м, высотой до 4-6 м. Здесь на карьере по добыче балластного камня есть бульдозерные зачистки шириной до 60 м, доступные для исследования строения рифа и сбора образцов. Диапазон изменения сопротивления – от 50 до 950 Ом.м. Повышенные значения  $\rho_k$  до 500-950 Ом.м выявлены в западной, центральной и восточной частях рифа в виде субмеридиональных зон шириной 15-20 м. Осмотр обнажения рифа не позволяет утверждать, что эти зоны наиболее насыщены кремнием, но данные электроразведки позволяют это предполагать. Риф представлен массивом известняков, разбитым системой горизонтальных трещин, создающих отдельность пластовых массивных разностей мощностью 0,4-0,5 м. В. П. Маслов среди рифовых построек Красноуфимского района среди десятка видов биогермных образований назвал такие фузулиновыми [4]. Как это видно на аншлифах образцов из центральной части постройки и на фото шлифа № 1, приведенного на рис. 3, именно к такому виду относится исследуемый риф.

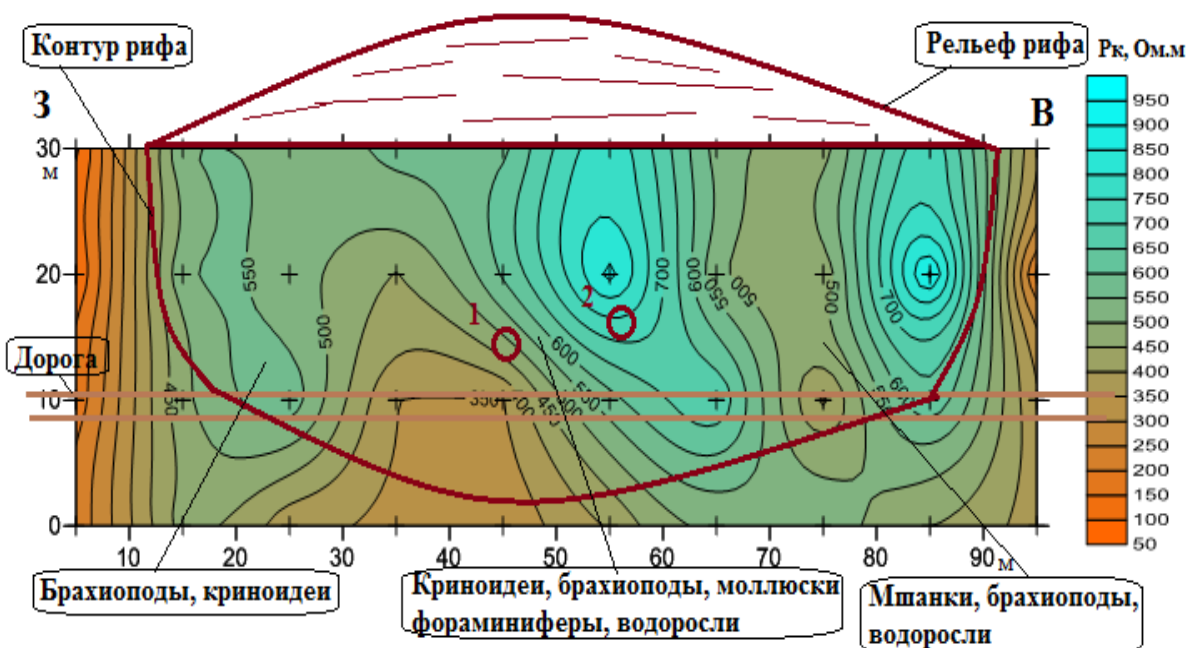


Рис. 2. План изоом  $\rho_k$  на планшете МСГ над южным флангом рифа. В рамках указаны списки набора фауны в различных частях постройки. Круги с цифрами 1 и 2 – места отбора образцов, из которых приготовлены шлифы, демонстрируемые на рис. 3.

Проблема определения генезиса кремня в составе органогенных построек поднималась многими исследователями. Исследователи шихана Шах-тау, наблюдая на восточном склоне шихана пласт окремненных известняков, полагали, что в мезозое на Урале могла быть эпоха окремнения известняков в зоне гипергенеза за счет кремнекислоты, освободившейся при выветривании горных пород. В Красноуфимском районе Б. И. Чувашов и др. [5] наблюдали в скважинах зоны окремнения (прослой голубовато-серого, коричнево-серого кремня мощностью до 15-25 мм) пологопадающих пластов мергелистого известняка в пределах артинского яруса на глубинах 5,6-73,9 м. При исследовании окремненных известняков Уфимского плато В. П. Маслов [4] приводил примеры метасоматического замещения известковой фауны кремнем и вторичного отложения халцедона. А. А. Ваганова считает источниками кремневых прослоев и конкреций в известняках на восточном склоне Урала кремневые скелеты организмов и насыщенные кремнекислотой воды из терригенных толщ [3].

Как видно из рис. 2, состав фауны в разных частях биогерма несколько различается. Среди брахиопод часты крупные (до 7 см в диаметре) *Gigantoproductus* (восточный склон рифа), стебли криноидей в центральной части биогерма более широкие (1,7 см), чем в западной части (0,7 см). В средней части рифа весьма значительную роль играют фораминиферы. Моллюски представлены как двустворками, так и гастроподами, в основном небольших размеров – от 0,3 (около десятка экземпляров) до 1 см (один экземпляр). В средней же части рифа обнаружена одна ругоза. Многочисленны спикулы губок. Следует отметить практически идеальную сохранность всей фауны на всем протяжении рифа: у мшанок в неприкосновенности осталось все тело, они представлены почти полностью, а не в виде отпечатков; у криноидей четко виден центральный канал и вся структура сочленений, внешняя поверхность брахиопод и моллюсков также очень четкая, внутреннее строение фораминифер на полировке смотрится идеально.

Кремни в известняках представлены двумя типами структур: линзы небольшой протяженности (до 20 см) и слоистые образования сопоставимой с ними длины. Это темно-серые плотные образования. Также широко распространены халцедоновые трубочки и почки.

Макроскопическое исследование кремней в рифовой постройке на северной окраине Красноуфимска привело к следующим наблюдениям. Нередко рядом (в 1-2 см) с линзами кремней в известняках можно видеть фауну, сохранность которой ничем не отличается от сохранности таковой во всем биогерме: перекристаллизация или какие-либо изменения структуры ее полностью отсутствуют. Нет четкой границы между кремнями и известняками, переход между ними постепенный, причем, при нанесении соляной кислоты на кремнь наблюдается слабое шипение. В кремнях отсутствуют видимые реликты известняков, сам кремнь плотный. В нем обнаружены фораминиферы и спикулы губок, все – хорошей сохранности, не подверженные какой-либо перекристаллизации. Реже встречаются мелкие моллюски – двустворки и



гастроподы диаметром 0,3 см. Более крупная фауна в кремнях полностью отсутствует.

Однако исследование шлифов даёт более точные сведения о генезисе кремней и их взаимодействии с карбонатами рифа (рис. 3). В шлифе № 1 представлен неокремнённый известняк рифовой постройки с многочисленной мелкой фауной (слева тёмная – фораминифера, справа – мшанка).

В шлифе № 2 из образца окремненного известняка приповерхностной части постройки видна граница между известняком и кремнем. Кремень представлен черной аморфной массой с мелкими центрами кристаллизации кварца (светлые точки). Явление кристаллизации кварца может свидетельствовать о температуре раствора в первые сотни градусов. Граница между известняком и кремнем неровная, корродированная (изъеденная), что также может указывать на внедрение кремня в структуру рифа в виде горячих растворов. В карбонатах отмечается частичная перекристаллизация фауны в контактовой зоне и отдельных микроорганизмов внутри. Замещение вещества или пустот организмов кварцем указывает на гидротермальную природу растворов кремния.

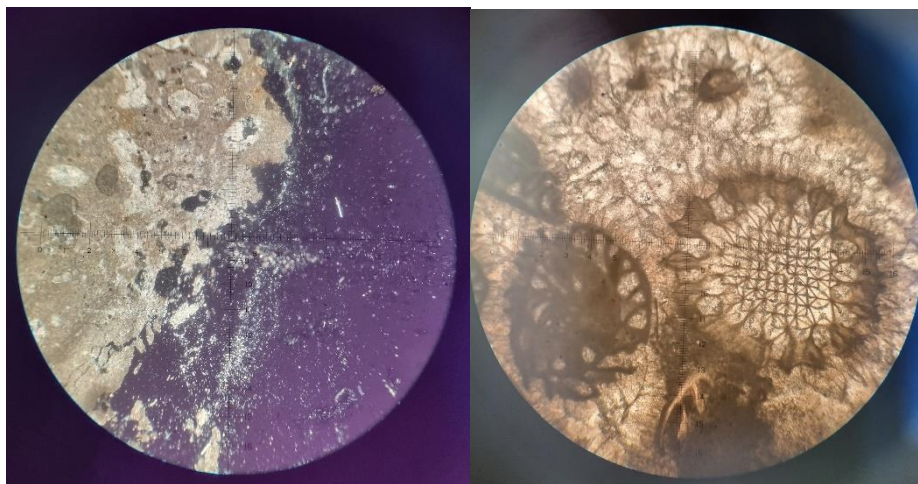


Рис. 3. Фото шлифов из образцов на рифовой постройке (см. рис. 2). Поле зрения 2,3 мм. Описание в тексте

Из всего вышесказанного можно сделать вывод, что окремнение сингенетично формированию рифовой постройки. Фораминиферы, спикулы губок и мелкие моллюски попадали в кремнистую массу сразу же после ее образования. Кремнистая масса поступала в известковистую массу рифа во время ее формирования из гидротерм или из окружающей морской среды и располагалась в теле рифа или на его поверхности в виде стяжений, пропластков. Если бы образование кремней происходило после образования известняков, то, во-первых, в кремнях оставались бы реликты известняков, а, во-вторых, крупная фауна в том или ином виде (целиком или в виде обломков), чего не наблюдается, как не наблюдается и неизбежной в этом случае перекристаллизации крупных обломков.

В собранных нами образцах совершенно четко видно, что халцедон вторичен и образовывался по краям спикул губок, имеющих, как известно, кремнистые стенки (рис. 4). В разрезе нескольких халцедоновых трубок четко видна центральная спикула, по краям которой располагается халцедон.





Рис. 4. Отложения халцедона в полостях порового пространства рифового фузулинового известняка

Таким образом, сингенетичность кремней и известняков в данном рифе можно считать доказанной. Исследование генезиса гидротермальных источников кремния может быть продолжено.

Таким образом, геолого-геофизические исследования некоторых рифовых построек в Предуральском прогибе позволило рекомендовать применение электроразведки методами сопротивлений для выделения в составе рифовых построек окремненных, чистых, заглинизированных разностей известняков. Макро- и микроскопические исследования окремненных разностей известняков позволили прояснить генезис кремней и их воздействие на рифовую постройку.

#### **Библиографический список**

1. *Богоявленская О. В.* Историческая геология (с основами палеонтологии). Учебное пособие. Екатеринбург, УГГА, 2004. 208 с.
2. *Богоявленская О.В., Лобанов Е.Ю.* Рифогенные сообщества раннего и среднего палеозоя Уральского палеобассейна. //Биостратиграфия среднего-верхнего палеозоя Русской платформы и складчатых областей Урала и Тянь-Шаня. Сб. научных трудов. М., 1995. С. 164-170.
3. *Ваганова А. А.* Кремневые конкреции в известняках среднего и нижнего карбона на востоке Урала.// Материалы уральской горно-промышленной декады 2018 г. УГГУ, С. 67-68.
4. *Маслов В.П.* Геолого-литологическое исследование рифовых фаций Уфимского плато// Труды Института геологических наук. Вып. 118. Геологическая серия (№ 42). 1950. 69 с.
5. *Чувашов Б. И., Дюпина Г. В., Мизенс Г. А. и др.* Опорные разрезы верхнего карбона и нижней перми западного склона Урала и Предуралья. Свердловск: УрО АН СССР, 1990. - 369 с.

## **МАГНИТНЫЙ ЗАРЯД ПРИ ПОИСКАХ ПРОЯВЛЕНИЙ МЕДНОГО КОЛЧЕДАНА**

В работе дан обзор практических и теоретических результатов достигнутых различными авторами при поисках медного колчедана с помощью метода заряда с измерением магнитных и электрических составляющих. Работа может быть полезна как при проведении полевых исследований с переменным электромагнитным полем, так и в дальнейшем при интерпретации и выявлении аномальных участков, связанных с медноколчеданным рудопроявлением.

**Ключевые слова:** магнитный заряд, медный колчедан, электромагнитное поле.

**Y.B. Pyzhyanov**

*ОАО Ural Geological Survey Expedition, pyjianov@mail.ru*

## **MAGNETIC CHARGE IN THE SEARCH FOR MANIFESTATIONS OF COPPER COLCHEDAN**

The article reflects the conclusions on the factual and theoretical material of various authors in the search of manifestations of copper pyrite using the method of charge with the measurement of magnetic and electrical components, which can be useful both in the field work with a variable electromagnetic field, and in the further interpretation and identification of anomalous areas, possibly associated with copper-pyrite ore occurrences.

**Key words:** magnetic charge, copper pyrite, electromagnetic field.

### **1. Теоретические основы метода ЗМ. Магнитное поле линейного неэквипотенциального проводника.**

Силовые линии магнитного поля тока, в бесконечном линейном проводнике, имеют вид концентрических окружностей, по касательным к которым направлены векторы поля. Для профиля вкрест простираения проводника поле и его горизонтальная составляющая имеют максимум, угол наклона вектора поля над проводником и вертикальная составляющая переходят через нуль. Сила тока в проводящей руде убывает от точки заряда за счет конечной проводимости руды и растекания тока во вмещающие горные породы. Магнитное поле на поверхности земли заряженного линейного неэквипотенциального проводника на глубине, складывается из поля проводника с конечной проводимостью и поля токов в окружающей среде, представленного суммой полей точечных заземлений, с убывающей силой токов.

Для тела длиной 500 м, диаметром 4 м, при сопротивлении руды 0.1 ом.м и окружающих пород 1000 ом.м, сила тока на расстоянии 250 м от заряда составляет 40% от начальной силы тока. Сопротивление заземления конечная величина, из-за падения напряжения далекие участки проводника лишены тока, они не влияют на уменьшение сопротивления заземления. Магнитное поле тока

линейного неэквипотенциального проводника вычисляется по закону Био-Савара. Поле имеет одну составляющую  $B_\varphi$ , угол  $\varphi$  отсчитывается от оси  $z$ . Поле токов в окружающей среде есть сумма полей точечных заземлений с силой тока, убывающей по мере удаления от начала проводника. Поле заземления в изотропной среде, (Бурсиан – 1936) эквивалентно полю полубесконечного кабеля, по оси  $z$ , подходящего из-под земли и оканчивающегося в точке заземления. Поле имеет горизонтальную составляющую  $dB_\varphi$ , составляющие поля

$$dB_x = dB_\varphi \sin \varphi = \frac{\mu dI}{2\pi R} \sin \varphi (1 - \cos \theta), \quad dB_y = -dB_\varphi \cos \varphi = -\frac{\mu dI}{2\pi R} \cos \varphi (1 - \cos \theta).$$

Над рудным телом имеем одну составляющую  $B_x$ . Наблюдаемое поле складывается из поля токов, текущих в проводнике, и поля токов, растекающихся в окружающую среду.

Суммарная горизонтальная компонента  $B_x$  определяется величиной  $B_x$  тока проводника, которая в несколько раз больше  $B_x$  токов среды и  $B_x$  точечного заземления. Вертикальная компонента  $B_z$  определяется током проводника. Поля токов среды и точечного заземления не имеют вертикальной составляющей. Глубина залегания проводника определяется как половина расстояния между экстремумами вертикальной компоненты. Горизонтальная компонента  $B_y$  определяется токами среды, в несколько раз больше горизонтальной компоненты  $B_y$ , точечного заземления. Поле проводника не имеет компоненты  $B_y$ . В конце проводника ток равен нулю, наблюдаемое поле определяется токами в окружающей среде, которое не имеет вертикальной компоненты.

**Примеры моделирования.** Для вертикальной пластины расстояние между экстремумами составляющей  $B_z$  равно  $2x = 2\sqrt{z^2 - b^2}$ , где  $z$  – глубина до центра пластины;  $2b$  – ширина пластины, для горизонтальной пластины  $2x = 2\sqrt{z^2 + b^2}$ . По сравнению с линейным проводником глубина до центра пластины в первом случае получена преуменьшенной, во втором преувеличенной.

Для наклонных пластин характерны выраженная асимметрия кривых  $B_x$  и  $B_z$  и смещение экстремальных точек в сторону падения рудного тела. Измерения магнитного поля вдоль вертикальной пластины и линейного проводника показали, при той же силе тока, поле пластины, убывает быстрее по сравнению с полем линейного проводника ввиду большего растекания тока с пластины в окружающую среду.

Для изучения влияния неоднородностей на электрическое и магнитное поля в качестве «рудного тела» использовали металлический стержень, для неоднородности использовали лист гетинакса толщиной 1 мм. Аномального эффекта от рудного тела на графике электрического потенциала не отмечается, для магнитного поля от «рудного тела» остается максимум над рудным телом.

**Область применения законов постоянного тока.** Для расчета магнитных полей используются законы постоянного тока. Параметр  $p = 2\pi a\sqrt{5f\gamma}$ , где  $a$  – половина расстояния между заземлениями планшета интенсивности, км;  $f$  – частота тока, Гц;  $\gamma$  – проводимость пород, мо/см. Сделан вывод, законы

постоянного тока при введении поправок справедливы с ошибкой 5% для  $p$  до 0.32, с ошибкой 10% – для  $p = 0.5$ . Для частоты 400 Гц, длина провода 0.5 км,  $p = 0.5$ , при сопротивлениях вмещающих пород 200 ом.м ошибка составляет 10%, при 500 ом.м – ошибка 5%.

**Оценка величины поля вихревых токов.** Влиянием поля токов, индуцированных в окружающей среде пренебрегают, выбирая соответствующую длину подводящего ток провода и частоту. Для рудных тел при радиусе  $a=5$  м, на расстоянии 50 м, поле вихревых токов составит 1% от поля рудного тела. Если наблюдение проводится, где поле провода мало по сравнению с полем тока в руде, то влиянием вихревых токов можно пренебречь. Для бесконечной по простиранию проводящей пластины в однородном поле  $B_0$ , перпендикулярное пластине возбуждает вихревые токи. На границе рудного тела  $B_{ан}/B_0 = 1$ ; на расстоянии (глубины  $h$ ) от края пластины  $B_{ан}/B_0 = 25\%$ ; на расстоянии  $2h \approx 12\%$ .

**О влиянии анизотропии среды.** Если среда состоит из анизотропных пластов, падающих под углом  $\alpha$ , с продольным  $\rho_t$  и поперечным  $\rho_n$  удельными сопротивлениями (коэффициент анизотропии  $\lambda = \sqrt{\frac{\rho_n}{\rho_t}}$ ;  $\rho_n$  больше  $\rho_t$ , осевая симметрия нарушена и появится вертикальная составляющая поля  $B_z$ . Проводящий пласт – рудная жила – это пример анизотропии, когда  $\lambda \gg 1$ . Влияние анизотропии сказывается, в увеличении горизонтальной составляющей поля  $B_x$ , направленной перпендикулярно простиранию пластов, в  $\lambda$  раз, то есть могут появиться аномалии похожие от рудных тел.

## 2. Физико–теоретические основы изучения магнитного поля токов

Физико–теоретические основы изучения магнитного поля токов даны по результатам [2].

Под нормальным (первичным) магнитным полем в методе заряда на постоянном токе понимают магнитное поле кабеля на поверхности однородного или горизонтально-слоистого полупространства, которое зависит только от формы кабеля и местоположения его заземленных концов, что позволяет исключить его из результатов наблюдений. Если оба питающих электрода размещены в вертикальной скважине, магнитные числа на поверхности земли обращаются в нуль, что позволяет использовать вертикальный кабель для изучения вторичного поля от изометричных проводящих объектов. Из расчета частотной зависимости реальных частей магнитных чисел для  $p = 1$  вычисление нормального магнитного поля по формулам для постоянного тока приводит к ошибке до 25% в области наблюдений. Значение  $p = \omega \mu_0 \delta l^2 = 1$  при частоте 78 гц и длине кабеля 500 м соответствует удельному электрическому сопротивлению горных пород 160 Ом. При  $p = 1$  существует магнитное поле, сдвинутое на  $90^\circ$  по фазе относительно тока в питающем кабеле (мнимая часть). При  $p \leq 1$  формулы постоянного тока для вычисления нормального поля является приемлемыми.

**Аномальное магнитное поле токов, растекающихся с точечного заземления в присутствии проводящего шара.** Электрод вне шара ( $d > a$ ). Когда вещество шара имеет высокую электропроводность ( $\delta_2 \rightarrow \infty$ ). Напряженность магнитного поля  $H_\varphi$  снаружи хорошо проводящего шара эквивалентна магнитному полю фиктивного кабеля внутри сферы вдоль оси  $z$  с заземлениями в центре сферы  $(0, 0, 0)$  и в точке  $(0, 0, a^2/d)$ , питаемого током силы  $\alpha I/d$ . Это интерпретация аномального электрического поля идеально проводящего шара, как поля двух точечных источников.

**Электрод внутри шара ( $d < a$ ).** Описано для хорошо проводящего шара ( $\delta_2 \rightarrow \infty$ ). Векторы горизонтальной составляющей аномального магнитного поля образуют на поверхности земли фигуру с двумя квазиполюсами, в которых горизонтальная составляющая напряженности обращается в нуль и достигает экстремумов вертикальная составляющая, положение которых не совпадает с квазиполюсами. Наличие двух и более квазиполюсов – признак локального проводника. Глубина  $h$  до эквивалентного электрического диполя, находящегося в центре шара, определяется по формуле  $h = X_m \sqrt{2}$ , где  $X_m$  – расстояние между экстремумами  $H_z$  на азимутальном профиле, где наблюдается максимальная аномалия.

**Магнитное поле кабеля, заземленного в анизотропной среде.** Магнитное поле кабеля представлено, как поле провода, соединяющего заземление, плюс аномальное магнитное поле двух заземлений в анизотропной среде. При коэффициенте  $\lambda=2$  для кабеля длиной 400 м, на профиле, перпендикулярном простиранию пород на удалении от заземления на 200 м, интенсивность аномалии в экстремуме составляет 200 мГ/А.

Величина аномалии быстро затухает при удалении от кабеля. Резкое уменьшение аномалии, в отличие от аномальных полей локальных объектов, наблюдается вблизи кабеля. Экстремумы расходятся от точки заряда по линиям, угол расхождения между линиями зависит от  $\lambda$ . При  $\lambda \rightarrow 1$  угол расхождения между экстремумами  $H_z$  на профилях, перпендикулярных слоистости, стремится к  $90^\circ$ . Увеличение коэффициента анизотропии ведет к уменьшению угла расхождения,  $60^\circ$  при  $\lambda=1.2$  и  $35^\circ$  при  $\lambda=4$ .

**Пластина. Основные типы аномальных полей.** Физическое моделирование проводили для изучения структуры поля в случаях, не поддающихся расчету. По элементам поля: экстремумы, оси нулевых значений вертикальной составляющей, квазиполюсы горизонтальной, аномальное поле классифицировано на восемь типов.

**Тип I.** Нормальное поле кабеля, вычитаемое из результатов наблюдения. При углах наклона скважины больше  $85^\circ$  им можно пренебречь.

**Тип II.** Наличие квазиполюсов служит признаком объекта, ограниченного по простиранию. Точки перехода  $H_z$  через нуль отмечают ось симметрии пластины. На профилях, лежащих вне проекции пластины, экстремумы  $H_z$  расходятся под

углом, близким к  $40-45^{\circ}$ , для линейного проводника, служит признаком выклинивания рудного тела по простиранию.

При наклоне пластины в азимутальной плоскости (под углом  $45^{\circ}$ ) и заряде в середину ее короткой кромки, возникает асимметрия поля. Большой по интенсивности экстремум  $H_z$  находится от заряда по восстанию пластины. Большой по ширине экстремум, он же меньший по интенсивности, находится от заряда в сторону падения пластины. Нулевая линия  $H_z$  уходит с проекции заряда в сторону падения пластины.

**Тип III.** Имеются две перпендикулярные друг другу линии перехода  $H_z$  через нуль, четыре разнополярных экстремума  $H_z$  и четыре квазиполюса в горизонтальном поле. Нулевую линию, вдоль которой вытянуты изолинии  $H_z$ , называют главной осью, другую – второстепенной. Главная ось совпадает с осью наибольшей концентрации токов в пластине и с направлением простирания пластины. Слева от главной оси наблюдаются положительные значения  $H_z$ , слева от второстепенной – отрицательные. При дипольной установке заряда аномалии от поверхностных неоднородностей, находящихся ближе к поверхностному электроду В, имеют главную ось противоположного знака – отрицательной, а второстепенную ось – положительной.

**Тип IV.** Характерная особенность – наличие слабых экстремальных областей  $H_z$  у ближней к заряду короткой кромке.

**Тип V.** Квазиполюсы располагаются вблизи кромки, в которую произведен заряд, на одной линии по обе стороны от заряда. Проекция пластины на дневную поверхность располагается между линиями экстремальных значений на азимутальных профилях. В местах выклинивания пластины по простиранию главная ось делает резкий поворот в сторону незаряженной длинной кромки.

В аномальных магнитных полях **типов VI, VII, VIII** отмечается сильная асимметрия положения квазиполюсов и изогнутость нулевой линии  $H_z$ , повороты ее у точки заряда или кромки пластины, меньшие по интенсивности экстремумы  $H_z$  тяготеют к противоположной от заряда длинной кромке. **Тип VIII** (заряд осуществлен на расстоянии одной трети длинной кромки) отличает дополнительная экстремальная область.

При моделировании аномальных магнитных полей пластин, имеющих скатывание по простиранию, экстремумы  $H_z$  и квазиполюсы горизонтального поля смещаются по направлению основной части тела, кроме случая заряда в центр пластины, когда последние уходят от проекции заряда к верхней кромке проводника.

Моделирование с незаряженной пластиной, залегающей горизонтально, показывает, что основные закономерности поля, выявленные для заряженных пластин, сохраняются и для незаряженных. Получено аномальное поле, сходное с полем типа V и VII.

**Контакт двух сред и непроводящие включения.** Вертикальный контакт фиксируется аномалией составляющей  $H_z$ , которая проходит через нуль через проекцию точки заряда и перпендикулярно контакту, экстремумы  $H_z$  лежат над контактом и вытянуты вдоль него. Квазиполюсы горизонтального поля



находятся над контактом. Расстояние между квазиполюсами в 16 раз больше глубины точечного источника и в 30 раз – расстояния от источника до контакта. То есть, аномалия от контакта двух сред может быть не оконтурена ввиду ограниченности планшетов съемки.

### **3. Магнитное поле точечного источника тока в полупространстве, содержащем идеально проводящие тонкий пласт и шар**

При разведке рудных тел под хорошо проводящими (угленосными) отложениями с помощью скважин, при заземлении одного полюса источника тока, в скважине ниже идеально проводящего пласта по измерениям электрического потенциала на дневной поверхности невозможно получить информацию о проводнике, залегающем под пластом. Магнитное поле, измеренное на дневной поверхности, сохраняет информацию о проводнике, когда он перекрыт идеально-проводящим горизонтальным пластом.

Электрическое поле в среде, содержащей источник  $A$ , может быть представлено как поле этого источника и фиктивного источника  $A'$  противоположного знака, который отражен в пласте. По другую сторону пласта электрическое поле равно нулю.

Магнитное поле токов, растекающихся от точечного источника тока в среде, включающей источник, равно магнитному полю фиктивного кабеля с током  $I$ , текущим от фиктивного источника  $A'$  по оси  $z$  в сторону положительных значений  $z$ . Магнитное поле по другую сторону пласта равно магнитному полю фиктивного кабеля с током, текущим от заземления  $A$  по оси  $z$  в сторону отрицательных значений  $z$ . Магнитное поле от подводящих проводов должно быть вычислено отдельно и добавлено к этому полю.

В случае границы раздела земля-воздух ток направлен к фиктивному источнику  $A'$ , находящемуся выше границы раздела, что обеспечивает непрерывность магнитного поля на границе. В полупространстве, не содержащем источника, токи, растекающиеся от точечного заземления, создают одинаковое поле в случае тонкого идеально проводящего пласта и границы раздела земля-воздух. В полупространстве, содержащем источник, величины напряженности магнитного поля одинаковы, а знаки противоположны.

### **4. Метод заряда с измерением магнитного поля.**

Основы информации по методу заряда с измерением магнитного поля очень хорошо раскрыты в работе Рогачева Б.В. [1]. Раскроем основные нюансы этого метода, выявленные в ходе практических исследований в рамках поисковых работ на примерах Худесского медноколчеданного, Буронского колчеданно-полиметаллического, Ново-Монастырского, Ахобинского, Ниттис-Кумужья, Сопчуайвенч, Медвежье, Эге-Хая месторождений.

**Худесское медноколчеданное месторождение.** Положение аномальных осей согласуется с данными о наличии крупного тектонического нарушения. Центральная часть рудного тела отмечается аномалиями составляющих  $B_z$  и  $B_x$ , интенсивность по  $B_x$  до 200 мкВ от колчеданных руд, вскрытых штольней, неглубоко залегающей части Главного рудного тела.

На участке зоны Промежуточной, работы проводились с целью прослеживания рудного тела, вскрытого скважиной. Четкая аномалия от рудного тела получена, когда вся установка (заряд – подводящие провода) оказалась на удалении от профилей. Аномальная ось, выделенная по точкам перехода через нуль  $V_z$  и максимальным значениям  $V_x$ , соответствует простиранию вскрытого рудного тела, но смещена на север. Аналогичные результаты получены при измерении магнитного поля электрического диполя. При работе методом заряда на постоянном токе (МЗ) выделены контуры рудоносных зон, при измерении магнитного поля в пределах этих зон регистрируются четкие линейные аномалии, вызываемые повышенной концентрацией тока в локальных объектах высокой электрической проводимости, в массивных колчеданах.

На участке Колчеданная балка измерялись составляющие магнитного поля  $V_x$ ,  $V_y$  и  $V_z$ . Отмечается характерная вытянутость изолиний, центр аномалии (максимальное значение  $V_x$ ) смещен от точки заряда на 200 м к востоку. Аномалия вызвана выдержанным по простиранию рудным телом, приуроченным к южному контакту рудоносной зоны, которое прослеживается на 400 м от точки заряда, залегает на глубине 30-40 м, на удаленных профилях получены слабые по интенсивности, но четкие по характеру аномалии. На профилях вблизи точки заряда, (30-40 м), аномалии выделить не удалось из-за влияния поля проводов.

При измерениях потенциала электрического поля на **Буронском колчеданно-полиметаллическом месторождении** рудная зона выделяется в целом, по напряженности магнитного поля внутри зоны выделяют область высокой электрической проводимости, соответствующей сульфидному рудному телу.

Здесь фиксируется характерное для горизонтального тока поле  $V_x$ . По характеру графиков  $V_z$  рудное тело соответствует линейному проводнику на глубине 30-50 м.

**Ново-Монастырское месторождение.** На графиках  $V_x$  и  $V_z$  рудная зона отмечается четкими аномалиями: максимумом  $V_x$  и нулевым значением  $V_z$ . Аномальная ось смещена от выхода рудной зоны на поверхность и совпадает с положением ее на горизонте штольни.

**Ахобинское месторождение.** Особенностью графиков  $V$ ,  $V_x$  и  $V_z$  является асимметрия, в сторону падения рудных тел значения поля убывают медленно, правая ветвь графиков более пологая, чем левая. Точка минимума  $V_z$  (переход через нуль) смещена от выхода рудного тела в сторону падения. На северном склоне гребня, где зона окисления незначительная, ось смещена на 5-10 м от выхода рудного тела на поверхность. На южном склоне, где зона окисления имеет большую глубину, смещение аномальной оси достигает 30-50 м. Это подтверждается влиянием сдвига-сброса, который прослежен на поверхности. Характер изолиний, полученных для северо-северо-восточной части участка от заземления, указывает, что в этом направлении рудное тело не продолжается. Здесь имеет место тектоническое нарушение, которое экранирует распространение рудного тела в этом направлении.

Аномалии а и б вызваны безрудными тектоническими зонами, представляющими ослабленные области, где происходит концентрация токов.

Резкое изменение простирания рудных аномалий, отсутствие аномалий на северо-восточном продолжении говорит об экранирующем тектоническом нарушении субширотного простирания, которому соответствует аномалия б.

Методом заряда на постоянном токе на **месторождении Ниттис-Кумужья** прослежена по простиранию аномальная ось, соответствующая жиле, подсеченной наклонной скважиной. Заряд в жилу осуществлен в наклонной скважине (угол наклона  $68^\circ$ ) на глубине 118 м. Наблюдаемые графики компонент поля над жилой имеют, выраженный характер составляющих поля линейного проводника.

**Месторождение Сопчуайвенч.** Здесь метод заряда магнитного (ЗМ) использован при прослеживании «слепых жил», залегающих на глубине 200-300 м. Общий характер графиков, положение экстремальных точек на кривых  $B_z$  не соответствуют проекции жилы на поверхность, смещены от нее на значительные расстояния, располагаются в направлении провода, подводящего ток, лежат на его продолжении, введение поправки за поле проводов положение этих точек не изменило.

**Район Северного Прибайкалья.** Четкая аномалия  $B_z$  и  $B_x$  приурочена к контакту перидотитов с роговиками, вскрытому с поверхности канавами, а на глубине 80 м – скважиной, где фиксируется интенсивная сульфидная вкрапленность. Отсутствие аномалий над предполагаемыми рудными телами вызвано тем, что вскрытые участки сплошных сульфидных руд представляют небольшие гнездообразные скопления агрегативных сульфидов.

Работы на **месторождении Медвежье (Восточные Саяны)** показали эффективность использования метода ЗМ для прослеживания тектонических графитизированных зон.

**Сульфидное месторождение олова Эге-Хая (Якутия).** На данном месторождении работы ЗМ проведены с целью прослеживания вскрытых и выявления новых рудных тел, залегающих среди гидротермально измененных пород. Наблюдения выполнены по профилям вкрест простирания рудных тел, по сети (20-40 на 10-20 м). Четкого аномального эффекта от жилы Дальней не получили. **Заряд ЗМ-VII.** Заряд сделан в рудный интервал скважины, на глубине 150 м. На кривых  $B_x$  переходит через нуль, а на  $B_z$  фиксируется максимум, что не позволяет объяснить полученную «аномалию» эффектом от заряженного проводника, и причины состоят в особенностях геоэлектрической обстановки: породы однородны по литологическому составу, но неоднородны по электрической характеристике. Имеет место вертикальная перемежаемость зон с высоким и низким сопротивлением, определяющим макроанизотропный характер среды в горизонтальном направлении. По данным магниторазведки фиксируются зоны, обусловленные гидротермальным изменением пород, методом сопротивлений отмечены вытянутые по простиранию пород аномалии проводимости.

## **5. Метод заряда с измерением напряженности магнитного поля при поисках и разведке сульфидных месторождений**

Обзор метода дан по работе [3].

Применение метода заряженного тела, МАГНИТНЫЙ (МЗТМ), то есть использование метода заряженного тела (МЗТ) с измерением магнитного поля, на рудном участке **Юбилейного месторождения** дало интенсивные аномальные значения до  $50 \text{ тл/А}$ , при этом нормальное поле не превышает  $15 \text{ тл/А}$ . Экстремумы  $H_z$  по обе стороны от главных осей имеют равную амплитуду, что характерно для объекта, восстающего своей основной частью от точки заряда. На северо-восточное падение объекта указывают нулевые линии  $H_z$ , смещенные от точки заряда к юго-западу, а также большая ширина северо-восточных экстремумов. По планам векторов горизонтального поля и изодинам  $H_z$  устанавливается, что заряд осуществлен в среднюю по простиранию часть проводящего объекта и близко к его нижней кромке по падению. На плане ориентировочно отмечен контур проводящего объекта, границы которого по простиранию фиксируются резкими поворотами нулевых линий  $H_z$ . Устанавливается, что проводник близок к изометричному в плане.

В магнитном поле заряда рудного тела **месторождения Таш-Тау** отмечается рельефная аномалия. Ось концентрации токов в рудном теле проходит через проекцию точки заряда по простиранию тела на север, а затем, ближе к северному замыканию рудного тела, поворачивает в сторону его восстания. Знак оси перехода положителен. Наклон тела по простиранию к северу от точки заряда, экстремальные области  $H_z$  и квазиполюсы горизонтального поля остаются вблизи точки заряда и не смещаются вдоль оси концентрации.

На плане изолиний  $H_z$  рудное тело **Октябрьского месторождения** фиксируется аномалией, осложненной в западной части локальным возмущением, знак которого классифицирует этот локальный объект как поверхностный. Аномалия  $H_z$  меняет знак при переходе от установки двухэлектродной к поверхностной одноэлектродной. По геологическим материалам локальная аномалия магнитного поля токов приурочена к ложбине с рыхлыми отложениями. Само рудное тело отмечается в вертикальном магнитном поле асимметричной аномалией  $H_z$ , главная ось которой уходит к югу от зарядной скважины.

В поле электрического заряда **Подольского участка** максимумом потенциала фиксируется приближенная к дневной поверхности часть рудной зоны (результаты бурения скв. 3); ось концентрации токов МЗТМ отмечает более проводящую часть рудной зоны на ее восточном крыле по падению, которая совпадает с аномалией МЗТ. Глубина до проводника по МЗТМ, 450-500 м. Скважина вскрыла с глубины 460 м рудоносную зону большой мощности с сульфидной вкрапленностью.

На поисковом участке, в пределах которого развиты **туфы, пирокласты андезит-дацитового состава**, повсеместно обнаружены коренные породы; рыхлые отложения мощности (0-10 м) развиты в отдельных локальных понижениях рельефа, поисковыми скважинами в отдельных интервалах вскрыты зоны метасоматитов с вкрапленностью сульфидов. В одну из таких зон на глубину 204 м помещен один питающий электрод, другой – заземлен в устье скважины. Ось аномалии совпадает с понижением в рельефе, заполненном рыхлыми отложениями, и с аномалией проводимости, выделенной здесь по

методу погруженных электродов. Аномальное возмущение имеет обратные знаки. Этот факт свидетельствует о том, что аномалия в магнитном поле вызывается концентрацией тока, стекающего с электрода В, в ложбине с рыхлыми отложениями. Безрудность участка подтверждена полевыми геофизическими исследованиями и буровыми работами.

На безрудном участке **Акъярский** выполнены измерения МЗТМ в скважине (глубина заряда 450 м), пробуренной с целью проверки гравиметровой аномалии и аномалии МПП, рудных тел не обнаружено. В скважине проведены исследования методом ДЭМПС, аномальных возмущений не получено. На кривых поля при МЗТМ на всех профилях не зарегистрировано аномалий. Магнитное поле закономерно и резко убывает при удалении от ствола зарядной скважины. В силу вертикальности скважины интенсивность нормальных магнитных полей составляет единицы миллигамм. Графики не имеют искажений в условиях развития на участке мощной и хорошо проводящей толщи рыхлых отложений.

## **6. Электроразведка методом заряда**

**Ново-Вишневский участок.** При измерениях электрического потенциала, максимум сместился на северо-восток, экстремальная область совпала с обобщенным контуром проекции рудной зоны Ново-Вишневского месторождения. На западе резким сгущением изолиний потенциала отмечен выход на поверхность полосы кремнистых сланцев высокого сопротивления.

При измерениях магнитного поля ось концентрации токов (нулевая линия  $V_z$ ) в рудной зоне месторождения направлена вкрест простирания рудной зоны. Такой вид поля в соответствии с геологическими данными указывает на то, что субгоризонтальная рудная зона изометрична в плане, а заряд осуществлен вблизи ее юго-западной кромки.

То есть, электрическим потенциалом определяется контур проводящей зоны, связанной с гидротермально измененными породами, в случае исследования магнитного поля имеем дело с линейными горизонтальными проводниками, которые могут быть и рудными телами колчеданов, и тектоническими нарушениями. Для разбраковки аномалий от рудных тел и тектонических нарушений следует использовать ДДЗ [9]. Для границы раздела земля-воздух и в случае присутствия проводящей неоднородности используется принцип геометрии, вводится фиктивный источник поля, который помогает объяснить отсутствие аномалии по электрическому полю и наоборот наличие аномалии по магнитным составляющим. Для изометричных в плане объектов ситуация более сложная, имеем составляющие магнитного поля  $V_x$ ,  $V_z$ . Когда они меняют знак, отсутствует аномальное поле, а аномальная ось перпендикулярна основному простиранию тела. Здесь необходимо изучение вертикальной и горизонтальной анизотропии физических свойств горных пород [11]. На практике измерение магнитных составляющих часто сопровождается погодными изменениями [10]. Поэтому с целью исключения влияния вихревого поля измерения следует делать на частоте максимально приближенной к постоянному току.

### Библиографический список

1. *Б.В. Рогачев.* Руководство по методу заряда с измерением магнитного поля. М., «Недра», 1965.
2. *В.В. Кормильцев, В.Д. Семенов, О.А. Хачай.* Физико–теоретические основы изучения магнитного поля токов. Свердловск, 1977 (УНЦ АН СССР).
3. *В.Д. Семенов.* Метод заряда с измерением напряженности магнитного поля при поисках и разведке сульфидных месторождений.
4. *В.В. Кормильцев, И. М. Шепелева, В.И. Шлыков.* Магнитное поле точечного источника тока в полупространстве, содержащем идеально проводящие тонкий пласт и шар. Свердловск, 1977 (УНЦ АН СССР).
5. *П.Ф. Астафьев, В.Д. Гельд, В.В. Кормильцев.* К вопросу истолкования данных метода заряда на переменном токе. Свердловск, 1977 (УНЦ АН СССР).
6. *П.Ф. Астафьев, Ю.М. Гуревич, В.В. Кормильцев.* Сравнение аномалий электрического и магнитного поля заряженной пластины в случаях одно – и двухэлектродной питающих установок. Свердловск, 1977 (УНЦ АН СССР).
7. *В.В. Кормильцев, В.Д. Семенов.* «Электроразведка методом заряда». Свердловск, 1977 (УНЦ АН СССР).
8. *Ю.Б. Пыжсянов.* Поиски колчеданов. Lambert. ISBN-10: 6202671165. ISBN-13: 978-6202671163, 2020.
9. *Ю.Б. Пыжсянов.* Сопоставление материалов геофизической основы с ДДЗ по листу Р-40-XXX.
10. *Ю.Б. Пыжсянов.* Исследование теории и практики стандартного метода заряда в геофизике. Lambert. ISBN-10: 6137377474. ISBN-13: 978-6137377475, EAN-9786137377475, 2018.
11. *Жданов С.А., Пыжсянов Ю.Б.* Результаты работ по обобщению геолого-геофизических материалов в Дегтярско-Полевском районе. Сборник: Глубинное строение, геодинамика, тепловое поле Земли, интерпретация геофизических полей.. Институт геофизики УрО РАН, Российский фонд фундаментальных исследований, Уральское отделение Евро-Азиатского географического общества. 2011. С.156-160.



**В.Н. Катаев<sup>1</sup>, Д.Р. Золотарев<sup>1,2</sup>,  
С.В. Щербаков<sup>1,2</sup>, Е.В. Дробинина<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>ПГНИУ, kataev@psu.ru

<sup>2</sup>ООО «Противокарстовая и береговая защита», Москва,  
zolotarev.lpmg@mail.ru.

### ОЦЕНКА СКОРОСТИ РАСТВОРЕНИЯ КАРБОНАТНЫХ И СУЛЬФАТНЫХ ПОРОД

Статья посвящена вопросу оценки скорости растворения сульфатных и карбонатных пород. Продемонстрирован опыт растворения образцов карбонатных и сульфатных пород *in situ* в специально оборудованных гидрогеологических наблюдательных скважинах на протяжении 8 месяцев. С целью определения скорости растворения специально подготовленные опытные образцы ежемесячно извлекались для взвешивания, замеров линейных параметров и фотофиксации. В результате получены сведения о динамике изменения измеряемых величин и установлены прогнозные зависимости, практическая ценность которых заключается в возможности их использования в расчетах при определении размеров карстовых деформаций.

**Ключевые слова:** карст; скорость растворения пород; карбонатные и сульфатные породы.

**V.N. Kataev<sup>1</sup>, D.R. Zolotarev<sup>1,2</sup>,  
S.V. Shcherbakov<sup>1,2</sup>, E.V. Drobinina<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Perm State University, kataev@psu.ru

<sup>2</sup>LLC «Karst-Control and Bank Protection», Moscow,  
zolotarev.lpmg@mail.ru.

### THE ESTIMATION OF THE SULFATE AND CARBONATE ROCKS DISSOLUTION RATE

The article is devoted to the estimation of the sulfate and carbonate rocks dissolution rate. The experience of carbonate and sulfate rock samples dissolution *in situ* in specially equipped hydrogeological observation wells during 8 months is demonstrated. The specially prepared experimental samples were extracted once a month for weighing, measuring linear parameters and photo fixation in order to determine the dissolution rate. As a result, the trend data of the measured values change were obtained and the forecast dependences were established. The practical value of the dependencies is the possibility of their use in the calculations of the karst deformation size.

**Key words:** karst; dissolution rate of rocks; carbonate and sulfate rocks.

Проектирование и строительство объектов на территориях, осложненных карстом, требует изучения этого процесса и применения при необходимости защитных мероприятий. Степень детальности изучения карста и количество исследуемых параметров возрастает при увеличении закарстованности

территории. В действующей нормативной документации, посвященной карстовой тематике (СП 11-105-97, СП 22.13330.2016, СП 499.1325800.2021), указана необходимость количественного прогноза, который выражается через такие параметры как интенсивность провалообразования, средние и расчетные диаметры карстовых провалов, критические размеры полостей и др. В работе [6] раскрыто влияние геологического строения территории на распределение карстовых форм. При этом, для определения расчетного диаметра карстового провала в соответствии с действующими нормативными документами следует устанавливать начальный и критический диаметры полости. Последний невозможно оценить без определения скорости растворения карстующихся пород.

Исследования отечественных и зарубежных специалистов в области скорости растворения пород показывают значительную вариативность в зависимости от литологического состава, возраста и генезиса карстующихся пород. Так, А.Г. Лыкошиным приведены сведения о скоростях растворения карбонатных пород от долей миллиметра до 3 мм в год [4]. Напротив, согласно данным Д. Форда и П. Уильямса [5] скорость растворения карбонатов не превышает 0,01-0,03 мм в год. К.А. Горбунова для территории вблизи плотины Камской ГЭС приводит такие цифры роста трещин в известняках за временной промежуток в 100 лет [1]:

- ✓ по лабораторным данным (со ссылкой на Ф.Ф. Лаптева) – 3,4 см;
- ✓ за счет растворения речными водами – 5,0 см;
- ✓ за счет растворения речным потоком – 20 см;
- ✓ по скорости растворения известняков в основании плотины – до 50 см.

Такие различия у разных авторов связаны не только с вышеотмеченными факторами, но и с условиями проведения опытов.

Целью проведенного исследования являлось установление величин скорости растворения карбонатных и сульфатных пород пермской системы, развитых в Пермском Предуралье. Данные карстующиеся отложения широко представлены и в пределах Русской платформы.

Для проведения опытов были отобраны 20 образцов растворимых пород с различных глубинных интервалов в районе проектируемого мостового перехода через р. Каму в Полазненском районе преимущественно сульфатного и карбонатно-сульфатного карста [2]. В административном отношении участок находится в Орджоникидзевском и Мотовилихинском районах г. Перми.

#### *Краткая характеристика изучаемой территории*

Естественный рельеф изыскиваемой территории речного морфогенеза сформирован глубинной, боковой регрессивной эрозией и аккумуляцией. Основным рельефообразующим элементом является р. Кама. Наблюдательные скважины приурочены к первой надпойменной террасе р. Камы.

По данным инженерно-геологического бурения на участке проектируемого мостового перехода встречено два постоянных водоносных горизонта – грунтовые воды в аллювиальных отложениях и трещинно-карстовые воды в карбонатных породах пермской системы – и подземные воды типа «верховодка», отличающиеся непостоянством контура распространения и режима.

Грунтовые воды аллювиального водоносного комплекса приурочены к разнзернистым пескам, в том числе залегающим в виде линз в глинистых грунтах. Воды преимущественно безнапорные, формирование местных напоров (0,5–8,8 м) характерно для участков, где пески перекрыты глинистыми грунтами, образующими верхний водоупор. Грунтовые воды характеризуются сульфатно-магниево-кальциевым составом с минерализацией, изменяющейся от 0,6 до 1,8 г/дм<sup>3</sup> в течение года.

Пермский водоносный комплекс приурочен к карбонатно-терригенным отложениям и вскрыт на глубинах 13,2–27,1 м (абс. отм. от 71,3 до 62,5 м). Горизонт характеризуется напором от 13,2 до 29,9 м.

В ходе анализа топографических карт масштаба 1:25000, статических космоснимков земли Google, Yandex, Bing Maps и ArcGIS Imagery карстопроявлений не выявлено. В процессе выполнения инженерно-геологических изысканий рекогносцировочными маршрутами поверхностных форм, которых можно было бы отнести к проявлению карстово-суффозионных процессов (провалов, воронок) не зафиксировано.

Ближайшие карстовые формы согласно топографическим картам и спутниковым изображениям расположены примерно в 9 км к северу от проектируемого мостового перехода, в районе д. Пальники (Чусовская Стрелка, Чусовской Мыс) на правом берегу и севернее д. Заозерье на левом берегу. Следует отметить, что это связано с тем, что уже в 5-6 км к северу от створа проектируемого мостового перехода наблюдается довольно значительное изменение инженерно-геологических условий, обусловленное поднятием геологических слоев на юго-восточном крыле Краснокамско-Полазненского вала.

Согласно описанию имеющихся архивных скважин на данной территории карстовые полости не вскрыты. Однако К.А. Горбуновой при описании карстового участка Чусовского мыса отмечено, что в 1949 г. под руслом р. Чусовой скважинами были вскрыты карстовые полости вертикальной мощностью до 8 м [2].

#### *Методика работ*

Из отобранных проб грунтов вырезаны образцы кубической формы размерами от 2х2х2 до 3х3х3 см для использования в эксперименте. Для каждого образца установлены физико-механические характеристики, определен химический состав микронзондовым методом, произведено микроскопическое описание. Для 6 образцов выполнены электротомографические исследования. Все образцы взвешивались и укладывались в перфорированные бюксы, соединенные в цепочку-гирлянду, после чего помещались в специально оборудованные гидрогеологические скважины, пройденные на первой левобережной террасе р. Камы на удалении 200 м от русла и вскрывшие четвертичный аллювиальный водоносный горизонт на глубине 4-8 м (рис. 1). Погружение опытных образцов в четвертичный водоносный горизонт произведено с целью оценки скорости растворения в условиях максимально благоприятных для интенсификации процесса растворения пресными водами.

С периодичностью один раз в месяц на протяжении восьми месяцев образцы извлекались для взвешивания, замеров линейных параметров и фотофиксации (рис. 2). Замеры выполнялись электронным микрометром и электронными весами высокой точности. Путем деления масс образцов на их объем на каждом этапе проведения опыта определялась их плотность. Уже в ходе проведения испытаний было отмечено, что все образцы показывают примерно подобную динамику изменения замеряемых параметров от месяца к месяцу. Иными словами, изменение объема и массы для каждого куба на каждой итерации проведения опытов было примерно одинаковым, несмотря на сезонность года и изменения в режиме фильтрации грунтовых вод и их химическом составе.



Рис. 1. Схема расположения изучаемой территории и наблюдательных скважин



Рис. 2. Проведение полевых исследований скорости растворения карбонатных пород в районе г. Перми

Итоговые изменения объема, линейных параметров, массы и плотности всех образцов нормализованы путем деления на исходные значения этих величин на момент старта проведения опытов и выражены в процентной форме. В результате данной процедуры установлена линейная взаимосвязь между потерей массы, плотности и изменением объема образцов. Следует отметить, что в статистической обработке одновременно участвовали все образцы независимо от разновидности и состава породы.

Полученные зависимости могут быть использованы в практических целях. Например, из высокой корреляции между потерей объема и массы следует, что при полевых или лабораторных экспериментах по определению скорости растворения карстующихся пород можно ограничиваться только замером изменения массы образцов, при этом форма самих образцов может быть произвольной. Так, из изменения объема кубов можно вывести формулу по определению среднегодовой линейной (по одному из трех направлений) скорости их растворения:

$$v = (\sqrt[3]{V_0} - \sqrt[3]{V_1})/t$$

где  $v$  – линейная скорость растворения куба, см/год;  $V_0$  – объем куба до начала проведения опытов, см<sup>3</sup>;  $V_1$  – объем куба на момент завершения опытов, см<sup>3</sup>;  $t$  – период проведения опытов.

С применением аналогичной формулы по отношению к изменению массы кубов за время проведения испытаний, экстраполированной на годовой период и приведенной к нормализованному виду путем деления на значение массы до проведения опытов, установлена зависимость, приведенная на рисунке 3. С ее помощью можно определять скорости растворения карстующихся пород, зная только изменение их массы даже за ограниченный период проведения замеров.

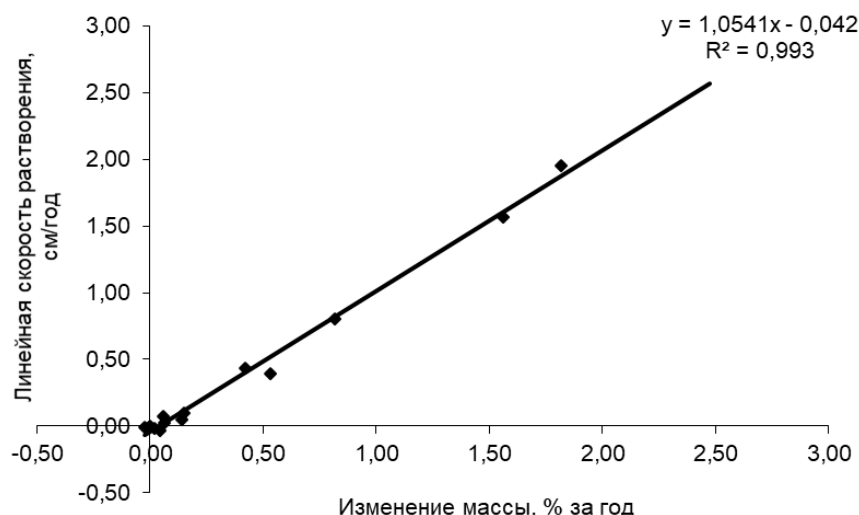


Рис. 3. Прогностическая зависимость для определения линейной скорости растворения пород по изменению их массы

Следует отметить тенденцию к уменьшению плотности большей части образцов за время испытаний, что связано с активизацией процесса выветривания в результате постоянной гидратации кубов. Часть кубов,

подвергались скалыванию в результате длительного водонасыщения, у некоторых кубов развивались характерные трещины на гранях, а 2 образца, представленных карбонатными породами, и вовсе разрушились на 5 и 6 месяце проведения испытаний. Это наблюдение также имеет свой практический интерес. Постоянное водонасыщение карстующихся пород в природном массиве сопровождается ухудшением их физико-механических свойств. Зоны развития сильнотрещиноватых и раздробленных карстующихся пород, а также зоны, в которых породы залегают в мучинистом состоянии (близки по состоянию к пылевато-глинистым грунтам) свидетельствуют об активной фазе развития карстового процесса.

Кроме того, отмечается изменение скорости растворения в зависимости от литологического состава, содержания примесей ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{SrO}$  и пр.), размера микротрещин [3].

В рамках данной работы отмечены основные закономерности, полученные в ходе проведения эксперимента по растворению карстующихся пород. Авторы считают, что подобные исследования с особым акцентом на выявление количественных взаимосвязей между химическим составом пород, гидрогеологическими и гидрохимическими особенностями внешней среды и скоростью растворения карстующихся пород следует продолжать и наращивать. В конечном счете, это позволит более точно оценивать опасность развития карста и давать максимально приближенные к реалиям количественные характеристики размеров карстовых деформаций, учитываемых при проектировании и строительстве зданий и сооружений.

#### **Библиографический список**

1. Горбунова К.А. Карст некоторых районов Молотовской области (ныне Пермский край). Дисс. канд. геол.-мин., наук. Молотов (ныне Пермь), 1956. 356 с.
2. 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.
3. Катаев В.Н., Золотарев Д.Р., Щербаков С.В. Опыт растворения карбонатных и сульфатных пород // Материалы международной научно-практической конференции III Крымские карстологические чтения. Симферополь, 2021. С.50-56.
4. Толмачев В.В., Ройтер Ф. Инженерное карстование. М.: Недра; Берлин: Akademie, 1990. 151 с.
5. Ford D, Williams P. Karst hydrogeology and geomorphology. Wiley, New York, 2007. 601 p.
6. 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



## **ОСОБЕННОСТИ КАРСТОЛОГИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЙ НА ЛИНЕЙНЫХ ОБЪЕКТАХ – ГАЗОПРОВОДАХ, АВТОМОБИЛЬНЫХ И ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГАХ**

Рассмотрена специфика и даны рекомендации по карстологическим исследованиям на газопроводах, автомобильных и железных дорогах. Выполнены расчеты диаметров карстовых провалов на исследуемых объектах, которые сопоставимы с результатами рекогносцировочных исследований.

**Ключевые слова:** карст, линейный объект, диаметр провала.

**Yu. A. Kilin, I.I. Minkevich, D.R. Faiskhanov**  
PSNRU, iks-org@mail.ru

## **FEATURES OF KARSTOLOGICAL SURVEYS ON LINEAR OBJECTS – GAS PIPELINES, ROADS AND RAILWAYS**

The specifics are considered and recommendations on histological studies on gas pipelines, roads and railways are given. Calculations of the diameters of karst sinkholes on the studied objects have been performed, which are comparable with the results of reconnaissance studies.

**Keywords:** karst, linear object, diameter of the sinkhole.

Оценка карстовой опасности для линейных сооружений обусловлена малой площадью поражаемости карстовыми провалами даже при значительной их частоте, поэтому есть сведения о строительстве линейных сооружений на неустойчивых территориях вплоть до I категории [3].

Линейная вытянутость этих объектов, а также изменчивость геологических, гидрогеологических условий для образования карстовых форм требует выполнения районирования карста с привлечением значительного объема информации. Наряду с очень неустойчивыми территориями в непосредственной близости могут находиться участки устойчивые к карстовым провалам. Возникает вопрос об особом карстовом районировании линейных объектов. Нормативная литература позволяет выполнять инженерно-геологические изыскания в прилегающей полосе шириной 500-1000 м. Однако, даже такая ширина съемок не может обеспечить достаточное обоснование категорий карстоопасности, а соответственно и выработку действенных противокарстовых мероприятий. В основу районирования при изысканиях для таких объектов должен быть включен годовой цикл мониторинговых карстологических исследований, состоящий из повторных маршрутных исследований, наблюдений за уровнем воды в скважинах, родниках, колодцах, отборов воды на гидрохимический анализ по периодам года, повторных геофизических исследований и др.

С целью проверки возможности использования на исследуемой территории одного из методов вычисления карстово-суффозионных деформаций [1,5] был произведен расчет параметров карстового провала на поверхности земли и сопоставление его морфометрических параметров с уже существующими поверхностными карстовыми формами вблизи расчетной скважины.

Методика вычисления основана на послойном моделировании параметров деформаций для каждого грунтового слоя или инженерно-геологического элемента и, в конечном итоге, вычисления прогнозного диаметра провала на поверхности земли.

Отправной точкой для расчета является полость, заложенная на стыке карстующихся пород и вышележащих грунтов. Начальный диаметр полости задан в соответствии с требованиями нормативной документации по инженерной защите сооружений от карстово-суффозионных процессов.

Особенностями инженерных изысканий на газо- и нефтепроводах являются нагрузки на грунты под влиянием техногенных факторов: направлениями и пересечениями рельефа, разогревом труб (температура до 70<sup>о</sup>С), качеством обваловки труб. Поверхностные воды и атмосферные осадки фильтруются под основание труб, глубина прокладки которых достигает 1,0 м от поверхности земли. В этих условиях происходит подмыв труб снизу и активизируется суффозионно-карстовый процесс.

Особенно интенсивно процесс развивается в гипсоангидритовых карстовых массивах. В Иренском карстовом районе Пермского края в полосе магистральных газопроводов в зависимости от разных геологических условий в зонах вертикальной нисходящей циркуляции, переходной и горизонтальной циркуляции трещинно-карстовых вод образуются воронки различного генезиса: коррозионно-провальные, коррозионно-суффозионные, коррозионно-просадочные, коррозионно-эрозионные, провальные и полигенетические. После строительства газопровода отмечена активизация карста в логах. Распределение воронок по глубинам следующее: мелкие воронки глубиной до 1,0 м составляют 29–30%, обычные глубиной 1,0–3,0 м и более – 68–70%. Наиболее распространены конусообразные, блюдцеобразные воронки, с пологими задернованными стенками, с активным хорошо фильтрующим воду дном. Размеры в плане от 1х1 и до 20х20 м, реже 13х40 м.

Оценка характера подземной закарстованности основана на изучении геологического строения территории. По данным бурения (146 скважин) было вскрыто 236 карстовых полостей, большинство из них – в иренских сульфатно-карбонатных отложениях. По литологической приуроченности эти полости образованы в гипсах, значительно реже в ангидритах. Открытые, незаполненные полости были вскрыты в 43 скважинах, в количестве равном 102 шт. В процентном отношении, открытые полости составляют 43% от общего количества полостей. Остальные полости, соответственно, являются заполненными, их количество равно 134, что составляет 57%.

При инженерно-геологических изысканиях в пределах проектируемого коридора трасс были проведены детальные инженерно-геологические работы, вклю-

чающие бурение скважин, геофизические работы (ВЭЗ, КВЭЗ, электропрофилирование, каротаж скважин). Было выявлено, что полости площадью 12 м<sup>2</sup> не встречены, поэтому образование крупных карстовых провалов исключено. Однако техногенное влияние трасс МГ на карстовый процесс впоследствии привело к аварийным ситуациям, это связано с большой плотностью просадок и провально–суффозионных карстовых форм. На отдельных участках трасс в районе труб наблюдаются сплошные просадки, достигающие 20–30 м, все это может вызвать критическую нагрузку на металл трубы и привести к ее деформации с образованием трещин [2].

Для расчета параметров карстового провала в районе магистрального газопровода в Ординском районе Пермского края были использованы две карстологические скважины.

Обе скважины расположены на участках исследуемой территории газопровода. Разрез скважин приведен на рис. 1.

Результаты расчета и исходные данные приведены в таблице 1.

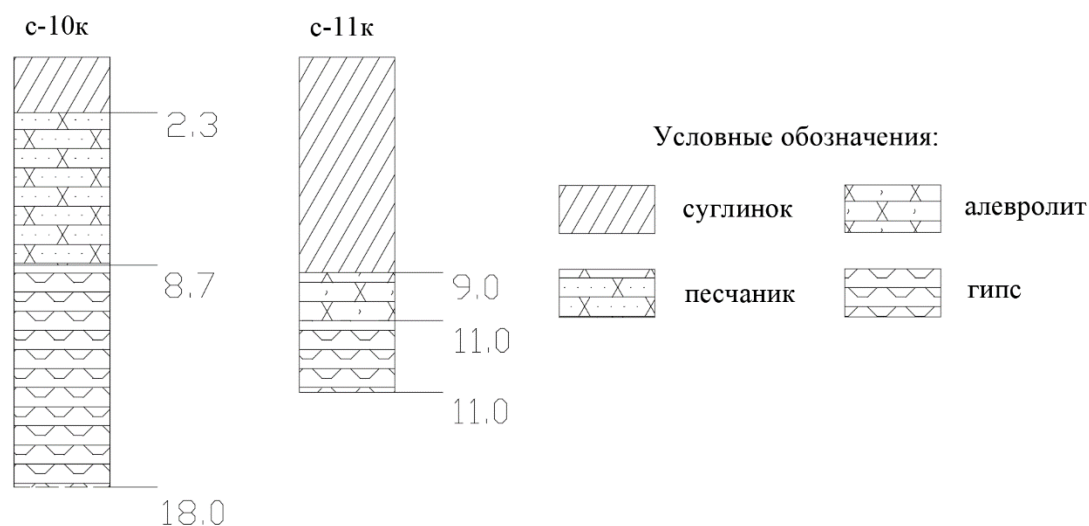


Рис. 1. Геологический разрез расчетных скважин в районе МГ в Ординском районе

Таблица 1. Расчет карстового провала в районе трубопровода

№ п/п	Номер скважины	Глубина скважины, м	Глубина залегания карстующейся породы, м	Литология карстующейся породы	Мощность карстующейся толщи, м	Диаметр провала, м
1	с-10к	18,0	8,7	гипсы	9,3	1,5
2	с-11к	14,0	11,0	гипсы	3,0	3,5

По итогам расчета прогнозируется образование провала в обеих скважинах диаметрами от 1,5 до 3,5 м, в среднем составляет 2,5 м.

По результатам рекогносцировочного обследования в районе трассы газопровода обнаружено 5 карстовых воронок молодого возраста, диаметром от 1,0 до 3,0 м, в среднем – 2,2 м.

Сопоставив полученные значения, можно отметить небольшое превышение расчетных данных над фактическими.



Рис. 2. Суффозионно-карстовые провалы на трассе МГ

Влияние автомобильных дорог на развитие карста заключается в образовании специфического барражного эффекта как по рельефу, так и приповерхностных горизонтах. Покрытие асфальтобетоном влияет на уменьшение испарения из нижележащего грунта, образуются верховодки агрессивно воздействующие на карстующиеся породы. Свыше 200 провалов зафиксировано на полотне автомобильных дорог и кюветах [4]. При изысканиях автодороги Орда-Ашап в Иренском карстовом районе на пикете (11+300км) на прилегающей непосредственно к автодороге территории образовался карстовый провал, вследствие нарушения гидродинамического режима при строительстве.

Диаметр провала составляет 1,5 м, глубина 3,5–4,0м с обрывистыми вертикальными стенками, обнажающими глинистые грунты с прослоями щебня и кавернозного гипса. В дальнейшем на прилегающей к полотну автодороги территории (км 11+200-11+400) образовалось несколько провальных воронок, глубиной 0,8-1,5м, диаметром 0,5-1,0м. По результатам бурения карстующиеся гипсы были вскрыты на глубине 0–12,5м. Под полотном автодороги были вскрыты карстовые полости на глубине 6,2–7,1м. Вероятно, они сообщаются, образуя единую систему; их размеры изменяются от 2,5 до 6,3м по глубине. Полости открытые, заполненные водой.

На 1990 г размер карстоопасного участка составлял 15х23м.



Рис. 3. Карстовый провал в кювете автодороги Орда-Ашап Ординского района

Для расчета параметров карстового провала в районе проектируемой автомобильной дороги в Нижегородской области была использована одна карстологическая скважина.

Расчетная скважина расположена на одном из участков исследуемой территории проектируемой автодороги. Разрез скважины приведен на рис. 4.

Результаты расчета и исходные данные приведены в таблице 2.

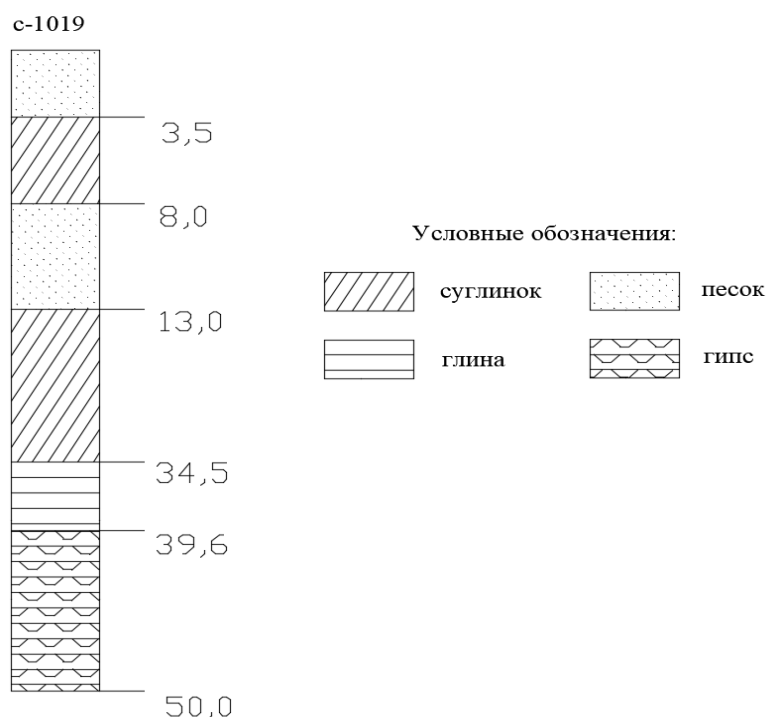


Рис. 4. Геологический разрез расчетной скважины в районе проектируемой автодороги в Нижегородской области

Таблица 2. Расчет карстового провала в районе проектируемой автодороги

№ п/п	Номер скважины	Глубина скважины, м	Глубина залегания карстующихся пород, м	Картующаяся порода	Мощность карстующейся толщи, м	Диаметр провала, м
1	с-1019	50,0	39,6	гипс	10,4	7,5

По итогам расчета прогнозируется образование провала в скважине диаметром 7,5 м.

По результатам рекогносцировочного обследования в районе проектируемой автодороги, вблизи расчетной скважины, обнаружено 4 карстовые воронки молодого возраста, диаметром от 4,5 до 10,0 м, в среднем – 7,0 м.

На железнодорожном полотне на первый план выходят вибрационная и динамическая нагрузки при прохождении составов. Насыпь, покрытая щебнем, хорошо пропускает атмосферные осадки и карстово-суффозионный процесс идет быстрее. Железнодорожные выемки и тоннели, пройденные в карстующихся породах, также способствуют активизации карста.

За последние 60 лет в Пермском Прикамье в полосе примыкания к железнодорожному полотну произошло более 130 провалов, из них более 20 с



поперечником и глубиной до 5 м. В ноябре 1989г. на 1517 км Свердловской железной дороги (перегон Ергач-Иренский) произошел провал земляного полотна, размер провала 2,5х1,5 м глубина 1,5м. Образованию провала способствовали следующие факторы: концентрация поверхностного стока в пониженном участке рельефа, наличие хорошо фильтрующих грунтов, влияние вибрации от проходящих составов, а также проведение взрывных работ на Соколино-Соркаевском месторождении гипса, расположенного в непосредственной близости от железной дороги.



Рис. 5. Карстовые воронки вблизи оси трассы проектируемой автодороги в Нижегородской области

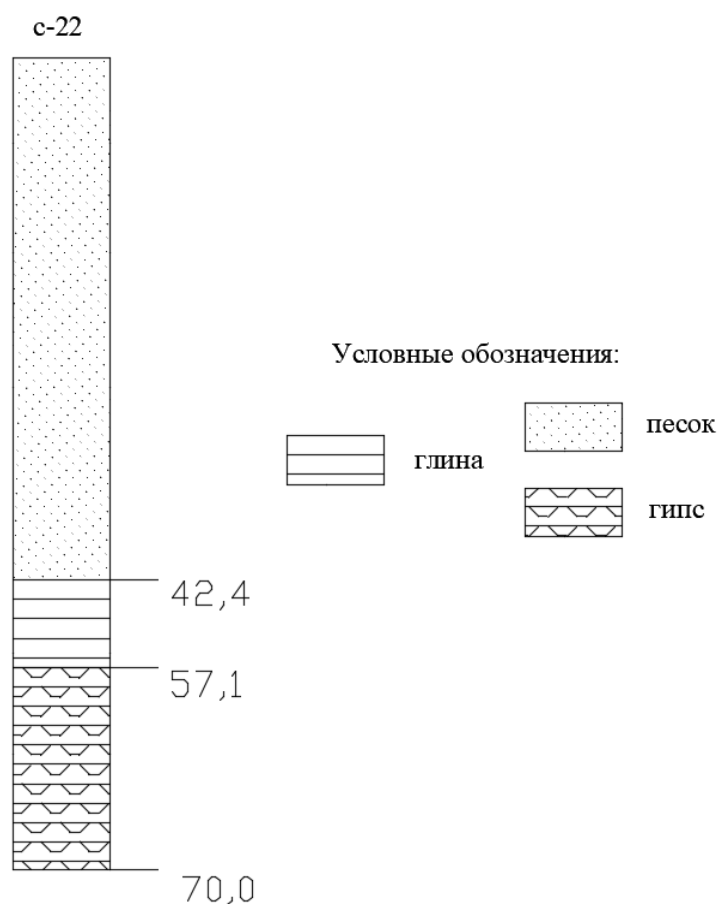


Рис. 6. Геологический разрез расчетной скважины в районе проектируемой железной дороги в Нижегородской области



В 1988 г два провала произошли на станции Губаха-Пассажирская. На участке провалов известняки выходят на поверхность, причиной провала является частичный подземный сток р.Берестянка.

Для расчета параметров карстового провала в районе проектируемой железной дороги в Нижегородской области была использована одна карстологическая скважина глубиной 70,0 м.

Расчетная скважина расположена на одном из участков исследуемой территории проектируемой железной дороги.

По итогам расчета прогнозируется образование провала в скважине диаметром 8,4 м (табл. 3).

По результатам рекогносцировочного обследования в районе проектируемой железной дороги, вблизи расчетной скважины обнаружено 3 карстовые воронки молодого возраста, диаметром от 6,0 до 11,0 м, в среднем – 8,0 м.

Таблица 3. Расчет карстового провала в районе проектируемой железной дороги

№ п/п	Номер скважины	Глубина скважины, м	Глубина залегания карстующихся пород, м	Карстующаяся порода	Мощность карстующейся толщи, м	Диаметр провала, м
1	с-22	70,0	57,1	гипс	12,9	8,4



Рис. 7. Карстовые воронки в районе проектируемой железной дороги в Нижегородской области

Особенности строительства тоннелей в карстующихся породах заключаются в наличии в кровле закарстованных отложений, которые образуют своеобразные естественные «накопительные емкости» инфильтрующихся осадков.

При эксплуатации железнодорожного тоннеля в г.Красноуфимске возникли проблемы с постоянным проявлением сильного капежа воды со сводов тоннеля. Тоннель для проезда поездов протяженностью 435м, высотой 8м, внутри сложен бетонными плитами. Внутри тоннеля существует дренажная штольня, по дну которой проложена водоотводная траншея. Массив карстующихся пород сложен доломитами, мергелями, в толще коренных пород имеются ослабленные зоны: сильновыветрелые мергели, аргиллиты, доломиты, выветрелые до состояния щебенистого и дресвяного грунта, глины и суглинки со щебнем.

В соответствии табл. 5.1,5.2 СП 11-105-97 ч.II участок работ по категории устойчивости по интенсивности провалообразования относится к категории V-Г с показателем интенсивности провалообразования менее 0,01, при выполнении инженерно-геологических изысканий до глубины 40,0м подземные воды не были вскрыты.

Из-за неоднородного состава толщи и свойств пород, составляющих надтоннельную часть слоев разной степени трещиноватости (известняков, мергелей, аргиллитов) фильтрационные свойства пород резко различны. Поэтому атмосферные осадки и паводковые воды, просачиваясь с поверхности, длительное время фильтруются через вышеописанную толщу. Наблюдениями (по опросам эксплуатационников) установлено, что после обильно выпавших дождей, интенсивный приток (капез) воды начинается через месяц-полтора.

Выводы: при строительстве любых линейных объектов, кроме проведения стандартных принятых СП, необходимо проводить специальные мониторинговые исследования в течение гидрологического года, которые позволят сделать правильный прогноз развития карста и обеспечить противокарстовую защиту.

Ширина полосы карстологической съемки в каждом конкретном случае при сооружении линейных объектов должна определяться с учетом расположения подземных водоразделов карстовых вод.

Расчетные диаметры провалов по методике моделирования карстово-суффозионных деформаций коррелируются с рекогносцировочными замерами молодых карстовых воронок на поверхности земли вблизи расчетных скважин. Данный способ моделирования провалов рекомендуется к использованию как обладающий высокой степенью достоверности.

Мероприятия по противокарстовой защите должны осуществляться с учетом специфики воздействия линейных инженерных сооружений на карстовый массив.

#### **Библиографический список**

1. *Аникеев А.В.* Провалы и воронки оседания в карстовых районах: механизмы образования, прогноз и оценка риска // Москва: РУДН, 2017.
2. *Килин Ю.А., Минькевич И.И.* Новые карстологические исследования в районах Пермского Прикамья // Вопросы географии. Сб. 147 Спелеология и карстоведения. Москва: Кодекс, 2018. С 17-29.
3. *Костарев В.П., Димухаметов М.Ш., Папирова В.Т.* Элементы мониторинга и аварийные ситуации на линейных сооружениях в карстовых регионах Пермского Приуралья. //Катастрофы и аварии на закарстованных территориях: Тезисы докладов совещания. Пермь. Дом науки и техники. 1990. С.31-32.
4. *Лукин В.С., Ежов Ю.А.* Карст и строительство в районе г.Кунгура. Пермь. Пермское книжное изд-во. 1988.
5. *Худеньких К.О., Катаев В.Н.* карстовый морфогенез в приповерхностной зоне сульфатно-карбонатного массива соколино-саркаевского месторождения гипса и ангидрита // Вестник Пермского университета. Геология. 2018. Т. 17. № 2. С. 171-176.

**А.С. Шишкина<sup>1</sup>, П.А. Красильников<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Филиал ООО «ЛУКОЙЛ-ИНЖИРИНГ» «ПермНИПИнефть»,  
Anastasija.Shishkina@pnn.lukoil.com

<sup>2</sup>ПГНИУ, geolnauka@gmail.com

## **ВЗГЛЯД НА НОРМАТИВНО-ПРАВОВОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ УПРАВЛЕНИЯ ПОДЗЕМНЫМИ ВОДАМИ СО СТОРОНЫ ИНОСТРАННЫХ ГОСУДАРСТВ**

Статья посвящена обзору современных подходов к управлению подземными водами и мониторингу подземных вод нефтяных месторождений на примере ряда стран

**Ключевые слова:** управление подземными водами, мониторинг подземных вод нефтяных месторождений, устойчивое развитие.

**A.S. Shishkina<sup>1</sup>, P.A. Krasilnikov<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>PermNIPIneft», branch of LLC «LUKOIL-Engineering»

<sup>2</sup>Perm State University, geolnauka@gmail.com

## **REVIEW OF APPROACHES TO GROUNDWATER MONITORING AND MANAGEMENT BY EXAMPLES OF SEVERAL COUNTRIES**

The article is devoted to the review of modern approaches to groundwater management and monitoring of groundwater of oil fields on the example of several countries

**Key words:** groundwater management, groundwater monitoring of oil fields, sustainable development.

Охрана подземных водных ресурсов от загрязнения и истощения в условиях растущего дефицита воды во многих частях мира является неотъемлемой частью процесса устойчивого развития, что предопределяет необходимость их рационального использования.

В кратком обзоре Доклада ООН о прогрессе достижения целей устойчивого развития на 2021 г. акцентируется внимание на необходимости наращивания инфраструктуры мониторинга.

Хотя мониторинг зачастую обходится относительно дорого, выявление проблем на ранней стадии может быть экономически весьма эффективным, позволяя принять меры по смягчению последствий до того, как состояние ресурса серьезно ухудшится.

Особенно в мониторинге нуждаются водоносные горизонты с высокой степенью уязвимости, потенциально пригодные для хозяйственно-питьевого водоснабжения [1].

Там, где это возможно, исключительно важно осуществлять профилактические меры, с тем чтобы избежать впоследствии дорогостоящих мероприятий по восстановлению, очистке и освоению новых водных ресурсов [2].

Большинство европейских стран получают более 50% общего объема водоснабжения из подземных вод. В Великобритании подземные воды обеспечивают около 30% всех общественных источников водоснабжения [3].

По данным Фонда подземных вод (Groundwater Foundation), 51% жителей США используют подземные воды в качестве основного источника питьевой воды, а для сельского населения этот показатель возрастает до 99%. Средний американец может использовать до 750 л воды в день [4].

В ответ на быстро растущие потребности в воде и под влиянием технического, научного и экономического прогресса, в течение 20 в. в большинстве стран мира наблюдался бурный рост забора подземных вод.

На рисунке 1 показано распределение мировых ресурсов подземных вод, которое отличается крайней неоднородностью и неравномерностью [1].



Рис. 1. Распределение мировых ресурсов подземных вод (Unesco, 2008)

Учитывая, что подземные воды можно отнести к условно возобновляемому ресурсу, т.к. в случае их загрязнения или истощения не всегда представляется возможным восстановление, позволяющее производить дальнейшую эксплуатацию, все более актуальным становится управление подземными водами.

Первые публикации по управлению подземными водами («Groundwater management») и мониторингу подземных вод («Groundwater monitoring») по данным Scopus (рис. 2) появились в конце 1960-х гг. С 1980-х гг. наблюдается



непрерывный рост публикационной активности, свидетельствующий о возрастающем интересе научного сообщества к проблемам подземных вод. К 2022 г. в базе Scopus содержится 37825 публикаций по тематике управления подземными водами и 27065 публикаций по тематике мониторинга подземных вод.

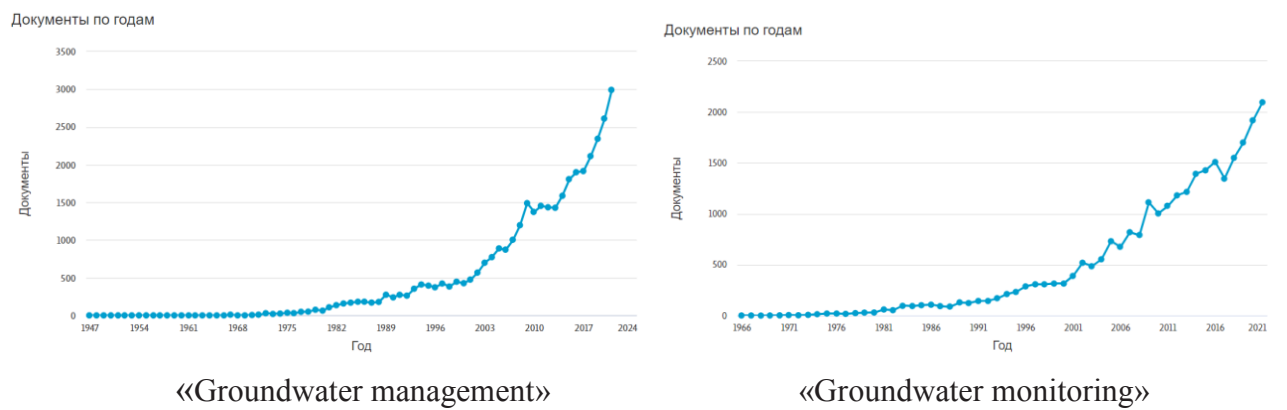


Рис. 2. Количество работ по теме исследования с распределением по годам (по данным Scopus)

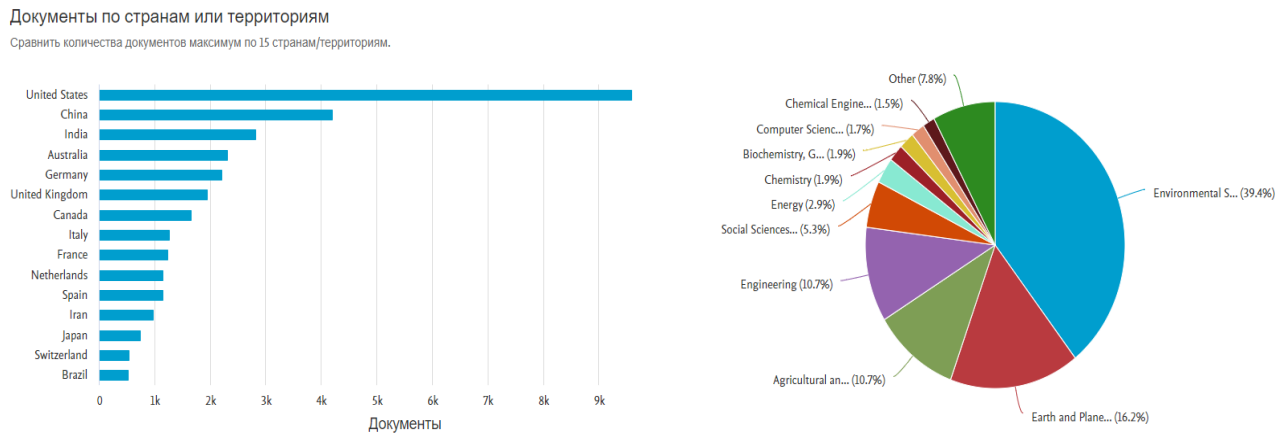


Рис. 3. Распределение работ по странам и территориям и по отраслям знаний по теме «Управление подземными водами» («Groundwater management») по данным Scopus

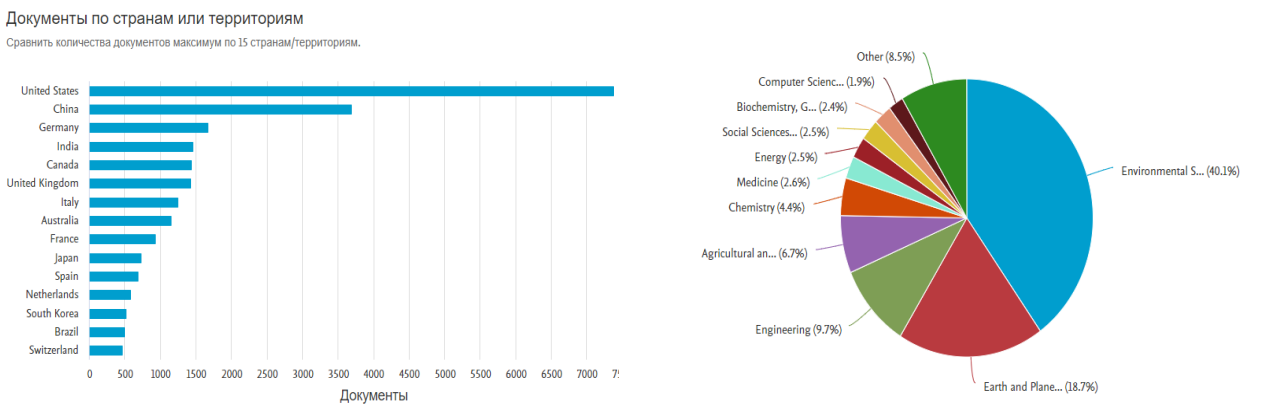


Рис. 4. Распределение работ по странам и территориям и по отраслям знаний по теме «Мониторинг подземных вод» («Groundwater monitoring») по данным Scopus

Наиболее активная публикационная деятельность по вопросу управления подземными водами характерна для авторов из США (9587 документов), Китая, Индии, затем идут Австралия, Германия, Великобритания, Канада, Италия, Франция, Нидерланды, Испания, Иран, Япония, Швейцария, Бразилия (рис. 3). Россия по количеству публикаций на тему управления подземными водами занимает 39 место с общим количеством 220 публикаций, уступая по публикационной активности таким странам как Пакистан, Бангладеш, Нигерия, Тунис и др.

Лидирующие позиции занимают Китайская академия наук, Министерство образования Китая, Геологическая служба США (United States Geological Survey), Австралийское Государственное объединение научных и прикладных исследований (SCIRO Land and Water) и др.

Среди опубликованных работ 76,3% – это статьи в различных журналах и 17,2% – статьи в материалах конференции.

Наиболее активная публикационная деятельность по вопросу мониторинга подземных вод характерна для авторов из США (7381 документ), Китая, Германии, затем идут Индия, Канада, Великобритания, Италия, Австралия, Франция, Япония, Испания, Нидерланды, Южная Корея, Бразилия и Швейцария (Рисунок 4). Россия по количеству публикаций на тему мониторинга подземных вод занимает 20 место с общим количеством 352 публикаций.

Среди организаций, занимающихся исследованием по теме мониторинга подземных вод лидирующие позиции занимают: Китайская академия наук, Геологическая служба США (United States Geological Survey), Министерство образования Китая, China University of Geoscience, University of Waterloo, Centre national de la recherche scientifique (Национальный центр научных исследований – Париж), United States Environmental Protection Agency и др.

Среди опубликованных работ 76,3% – это статьи в различных журналах и 16,8% – статьи в материалах конференции.

Рассмотрим состояние управления подземными водами в США, Китае и Австралии, которые также являются нефтедобывающими странами и, как упоминалось ранее, лидируют в публикационной деятельности по вопросу управления подземными водами.

## **США**

В США в 1948 г. принят "Федеральный закон о контроле за загрязнением воды" ("Clean Water Act"), в 1972 г. он был дополнен и наделили Агентство по охране окружающей среды США (EPA – United States Environmental Protection Agency) полномочиями по обеспечению соблюдения правил регулирования водных ресурсов [5].

Федеральный закон о безопасной питьевой воде (SDWA – Federal Safe Drinking Water Act) 1974 г. был изначально разработан для обеспечения безопасности питьевой воды. В 1986 г. и в 1996 г. в него были внесены и расширены поправки, включающие защиту устья скважин от загрязнения. Каждый штат должен был разработать программу защиты устья скважины для своего штата и представить ее на утверждение в агентство по охране окружающей среды [6]



В настоящее время американские исследователи приходят к выводу, что подземные воды являются стратегическим ресурсом, обеспечивающим развитие и безопасность государств.

Их поддерживает и правительство, отмечая, что недостаточная водная инфраструктура угрожает безопасности США, поэтому Двухпартийный закон об инфраструктуре от 15 ноября 2021 г. выделяет агентству по охране окружающей среды более 50 миллиардов долларов на улучшение инфраструктуры питьевой воды, сточных вод и ливневых вод в стране – это крупнейшие инвестиции в водное хозяйство, которые когда-либо делало федеральное правительство [7].

Американская ассоциация водоснабжения (AWWA – American water works association) определила пять критических факторов, которые будут влиять на прогресс в направлении устойчивого и жизнеспособного водного будущего: устойчивость, технологии, экономика, управление и социальные (демографические) факторы.

Ассоциация также поддерживает дальнейшее изучение технических вопросов, связанных с подземными водами, разработку разумной политики и нормативных актов, которые защищают качество и ресурсы подземных вод, а также поддерживает инициативное планирование, образование и усилия по защите источников воды и устьев скважин, а также поддерживает методы управления водными ресурсами, которые оптимизируют использование подземных вод в качестве источника питьевой воды, одновременно уравнивая другие конкурирующие виды использования.

Поощряется просвещение и информирование общественности по таким вопросам, как размещение, проектирование, строительство, обслуживание и восстановление скважин, забор подземных вод [8].

Отдельные штаты имеют инструкции, регламентирующие строительство, эксплуатацию и ликвидацию водозаборных скважин, которые постоянно актуализируются и доводятся до недропользователей. Частные владельцы информируются краткими руководствами, разъясняющими ценность подземных вод, и методиками их рационального использования и бережной эксплуатации.

Например, руководство по водозаборным скважинам Мичигана [9] содержит минимальные спецификации для расположения и строительства водозаборных скважин и связанного с ними насосного оборудования. Руководство устанавливает стандарты для материалов и методов, используемых для строительства водозаборных скважин и установки насосов, напорных баков, трубопроводов, клапанов и систем управления, стандарты по ликвидации заброшенных водозаборных скважин, стандарты строительства и ликвидации водопонижающих скважин, требования к отчетности, минимальные квалификационные требования для регистрации подрядчиков по бурению водозаборных скважин, требования к регистрации буровых машин и др. [9].

Стандарт водозаборных скважин Калифорнии [10] устанавливает минимальные требования для водозаборных скважин, скважин экологического мониторинга и скважин катодной защиты. В нем отмечается, что защита качества грунтовых вод имеет важное значение для будущего Калифорнии и неправильно построенные скважины могут привести к загрязнению грунтовых

вод до такой степени, что они станут непригодными для использования или потребуют дорогостоящей очистки. Осознание значимости ресурсов подземных вод штата произошло после сильной засухи 1976-77 гг., которая вызвала большой спрос на бурение, ремонт и углубление водозаборных скважин [10].

В 2014 г. в Калифорнии был принят Закон об устойчивом управлении подземными водами (SGMA – Sustainable Groundwater Management Act). До принятия SGMA подземные воды в штате Калифорния практически не регулировались, особенно по сравнению со всеобъемлющей системой разрешений для прав штата на поверхностные воды [11].

Государственные органы регулирования нефтегазовой отрасли уделяют большое внимание защите водных ресурсов от негативного воздействия, которое может произойти во время разведки и добычи нефти и природного газа.

Совет по охране подземных вод (GWPC – Groundwater Protection Council) считает, что регулирование деятельности на нефтяных и газовых месторождениях лучше всего осуществляется на уровне штата, где понимают региональные и местные условия и наилучшие применяемые практики, и где регулирование может быть адаптировано к этим условиям.

Важность мониторинга качества воды до, во время, и после бурения нефтяных скважин была подчеркнута Агентством по охране окружающей среды США, и несколько штатов приняли практику регулярного мониторинга.

В 2013 г. Колорадо стал первым штатом, принявшим правила отбора проб и мониторинга подземных вод (Правило 609).

Правило 609, находящееся в ведении Комиссии по сохранению нефти и газа штата Колорадо (COGCC – Colorado Oil and Gas Conservation Commission), требует отбора до четырех базовых проб в радиусе 0,8 км от проектируемой нефтяной и газовой скважины в течение 12 месяцев до начала бурения, и отбор проб в период от 6 до 12 месяцев после бурения, а затем дополнительный отбор проб в период от 5 до 6 лет после последнего отбора проб в местах первоначального отбора.

Список параметров качества воды, необходимых для тестирования качества подземных вод, включает: pH, удельную электропроводность, общее количество растворенных твердых веществ, растворенные газы, такие как, метан, этан и пропан, щелочность, основные анионы, основные катионы, бактерии, бензол, толуол, этилбензол, ксилолы и общее количество нефтяных углеводородов [11].

Хотя большинство подземных вод, используемых в качестве питьевой воды в США, имеют минерализацию менее 0,5 г/л защите подлежат и слабоминерализованные воды, которые потенциально могут быть очищены и использоваться в качестве питьевой воды в будущем [3].

Использование пластовой воды при бурении нефтяных и газовых скважин является обычной практикой, определенные ограничения на это использование набирают силу. Например, обзор нормативных актов агентств показывает, что 10 агентств запрещают использование пластовой воды во время бурения поверхностной части скважины с целью защиты ресурсов подземных вод. 12 агентств по нефти и газу занимаются изучением альтернативных видов использования пластовой воды, кроме интенсификации добычи.

Государственные органы по регулированию нефтегазовой отрасли США утвердили в 2013-2016 гг. более 100 нормативных актов, связанных с подземными водами и влияющих на разведку и добычу нефти и газа.

В штатах Аляска, Калифорния, Иллинойс, Индиана, Миссисипи и Техас обязательным требованием является геологическая оценка интервала между зоной, подлежащей гидроразрыву, и зонами грунтовых вод.

В Техасе устанавливаются дополнительные требования к скважинам, которые не соответствуют минимальному промежуточному интервалу между зоной гидроразрыва и защищенными подземными водами.

Девять агентств требуют от проводить испытания и мониторинг водозаборных скважин вблизи скважины, в которой проводится гидроразрыв пласта.

Семь штатов приняли требования по отбору проб воды с целью определения качества грунтовых вод в определенных местах до проведения гидроразрыва пласта для того, чтобы провести сравнение, если впоследствии будет заявлено, что гидроразрыв пласта нанес ущерб воде [13].

Наиболее важной целью мониторинга качества подземных вод в нефтегазовой промышленности является определение влияния деятельности по добыче нефти и газа на качество подземных вод путем мониторинга изменений качества подземных вод до, во время и после строительства нефтяных и газовых скважин.

Для понимания тенденций в качестве подземных вод (например, сезонных) в течение определенного периода времени требуется достаточное количество последовательных данных о качестве воды, прежде чем можно будет определить значимость изменений в качестве воды по сравнению с нормальными условиями [11].

## **Китай**

В соответствии с Положением об управлении подземными водами, которое вступило в силу с 01.12.2021 г. в КНР внедряется система целевой ответственности и система анализа и оценки для управления и охраны подземных вод, усиливается просвещение по вопросам сохранения и защиты подземных вод, а также поощряются и поддерживаются исследования, продвижение и применение передовой науки и технологии в области подземных вод.

Местные администрации водных ресурсов и органы управления природными ресурсами и экологической средой должны провести исследование и оценку состояния подземных вод, а также принять соответствующие меры по защите подземных вод и борьбе с загрязнением. Для усиления охраны и защиты подземных вод, согласно документу, общий объем добываемых подземных вод, а также уровень подземных вод будут взяты под контроль. Устанавливаются контрольные показатели общего объема добычи каждой провинции, автономном районе или муниципалитете.

Подразделения и отдельные лица, осуществляющие забор подземных вод должны установить средства онлайн учета забора подземных вод, которые в режиме реального времени передают данные в компетентные административные

отделы управления водными ресурсами, штраф за отсутствие приборов учета составляет 100000-500000 юаней, как и штраф за неликвидированную скважину.

Государство создает систему резервов подземных вод. За исключением особо засушливых лет и чрезвычайных ситуаций, подземные воды, которые не могут быть легко восполнены, не должны эксплуатироваться. После того, как аварийный резервный источник подземных вод закончил свое аварийное использование, он должен немедленно прекратить забор воды. Постановление также предусматривает, что обозначение районов, где эксплуатация подземных вод запрещена или ограничена, должно быть стандартизировано, а власти провинциального уровня должны составить планы по борьбе с чрезмерной эксплуатацией подземных вод на местах.

Выделяется национальная зона перерасхода подземных вод, зона запрета добычи и ограничения добычи подземных вод. Зоны чрезмерной эксплуатации подземных вод относятся к территориям, где фактический объем добычи подземных вод превышает извлекаемый объем, вызывая постоянное снижение уровня подземных вод и провоцируя экологический ущерб и геологические катастрофы.

В положении говорится, что необходимо усилить контроль за деятельностью, загрязняющей подземные воды; доработать правила, предотвращающие загрязнение подземных вод, вызванное загрязнением почвы, производственной и строительной деятельностью; усилить мониторинг и управление.

Определяются ключевые районы для предотвращения и контроля загрязнения подземных вод по всей стране [14,15,16].

Китай добился заметного прогресса в управлении подземными водами. После пика в 113 миллиардов кубометров в 2012 г., ежегодное использование подземных вод по всей стране снизилось до 89,2 миллиарда кубометров в 2020 г. В среднем в Китае ежегодно чрезмерно эксплуатируется 15,8 миллиардов кубометров воды, и эта проблема наблюдается в большинстве регионов.

В 2020 г. в Китае насчитывалось 10 242 станции мониторинга неглубокого залегания подземных вод. Из них 43,6% имеют воду V класса, наихудшего качества в пятиуровневой системе качества воды.

Учитывая, что подземные воды подвержены загрязнению и их трудно восстановить, в постановлении предусмотрены высокие штрафы за нарушения.

Оно также предусматривает усиленные меры по привлечению к ответственности должностных лиц, если они не выполняют свои обязанности по надзору за управлением подземными водами [16].

### **Австралия**

В первой всеобъемлющей публикации о подземных водах в Австралии, опубликованной Австралийским советом по водным ресурсам (AWRC) в 1975 г., была четко признана угроза загрязнения химическими отходами, просачивающимися с поверхности, в 1979 г. на конференции в Перте задокументированы многочисленные случаи загрязнения грунтовых вод.

В Австралии подземные воды широко используются в качестве источника бытовой, рекреационной, сельской и промышленной воды, хотя по опыту многих



австралийцев, живущих в столицах восточных штатов, ее важность плохо осознается.

Многие сельскохозяйственные предприятия развились в изолированных районах благодаря наличию хороших источников подземных вод. Эти отрасли варьируются от скотоводства в западном Квинсленде, до выращивания винограда в Южной Австралии. Развитие этих частей Австралии напрямую связано с грунтовыми водами. Фактически, около 18% австралийского общего объема водопотребления Австралии приходится на подземные воды.

Во многих ситуациях низкое природное качество подземных вод снижает осязаемую необходимость охраны, при этом не принимается во внимание экологическая значимость подземных вод. Загрязнение солоноватых водоносных горизонтов, особенно в тех случаях, когда водоносные горизонты являются высоко проницаемыми, может привести к серьезной деградации взаимосвязанных поверхностных вод и экосистем, которые от них зависят. Следовательно, экологические вопросы в некоторых случаях могут быть критическим фактором, определяющим меры по защите подземных вод [3].

По информации Департамента Горнодобывающей и нефтяной промышленности Западной Австралии подземные воды являются критически важным ресурсом в Западной Австралии, в некоторых районах штата они являются единственным источником водоснабжения многих городов.

Поэтому необходимо построить скважину для мониторинга подземных вод и провести отбор проб как можно скорее до начала работ по разведке и добыче нефти и до начала строительства объекта. Это обеспечит возможность получения базовых образцов до начала нефтяных работ, установить эталонное состояние подземных вод, чтобы любое будущее потенциальное воздействие от нефтедобывающей деятельности можно измерить по сравнению с исходным эталонным состоянием.

После начала бурения или ввода объекта в эксплуатацию мониторинг в той же скважине продолжается в форме "наблюдательного" для выявления любых изменений по сравнению с базовым состоянием.

Расположение мониторинговых скважин обычно зависит от гидрогеологических факторов, но должно быть как можно ближе к нефтяной скважине и ниже по склону от нее, чтобы обеспечить раннее обнаружение любого загрязнения, но не ближе 15 метров по соображениям безопасности [17].

## **Выводы**

Многие страны, отмечая необходимость более тщательного управления подземными водами, которому ранее уделялось недостаточное внимание, усиливают научные исследования, актуализируют нормативно-правовую базу и наращивают финансирование проектов, связанных с управлением подземными водами.

Для сохранения стратегических ресурсов подземных вод, Китай вводит зоны ограничения добычи подземных вод и переходит на полный контроль за уровнем отбором подземных вод, создаются национальные резервы подземных вод.

В США, Китае и Австралии активно ведется просветительская деятельность с целью повышения осознания значимости подземных вод среди населения и водопользователей, уделяется большое внимание мониторингу подземных вод во время строительства объектов нефтяной инфраструктуры.

В ряде нормативных документов акцентируется внимание на необходимости повышения качества проектирования, строительства и ликвидации водозаборных скважин. Плохо построенные скважины могут привести к загрязнению подземных вод до такой степени, что они станут непригодными для использования или потребуют дорогостоящей очистки. В США действуют программа по защите устьев водозаборных скважин от загрязнения.

Ожидается, что актуальность исследований по охране и защите подземных вод, в том числе и на нефтяных месторождениях, будут все возрастать в связи с увеличением зависимости мирового населения от подземных вод.

### **Библиографический список**

1. The United Nations World Water Development Report 2022: groundwater: making the invisible visible. URL:<https://www.unwater.org/publications/un-world-water-development-report-2022>.
2. Повестка дня на XXI век. Принята Конференцией ООН по окружающей среде и развитию, Рио-де-Жанейро, 3–14 июня 1992 года URL: [https://www.un.org/ru/documents/decl\\_conv/conventions/agenda21.shtml](https://www.un.org/ru/documents/decl_conv/conventions/agenda21.shtml).
3. Guidelines for Groundwater Protection in Australia. URL: <https://www.waterquality.gov.au/sites/default/files/documents/guidelines-groundwater-quality-protection.pdf>
4. Injection Wells: A Guide to Their Use, Operation, and Regulation URL: [https://www.gwpc.org/sites/gwpc/uploads/documents/publications/UIC\\_Guide\\_June\\_2021\\_Update1.pdf](https://www.gwpc.org/sites/gwpc/uploads/documents/publications/UIC_Guide_June_2021_Update1.pdf).
5. Summary of the Clean Water Act. URL:<https://www.epa.gov/laws-regulations/summary-clean-water-act>
6. Federal Laws on Groundwater Protection. URL:<https://ehs.msu.edu/enviro/whpp/wh-05law.html>.
7. Bipartisan Infrastructure Law. Water Infrastructure Investments. <https://www.epa.gov/infrastructure/water-infrastructure-investments>.
8. American Water Works Association. Water 2050. URL:<https://www.awwa.org/Resources-Tools/Water-2050>.
9. Michigan's water well manual URL:[https://www.michigan.gov/documents/deq/Water\\_Well\\_Manual\\_2013\\_437334\\_7.pdf](https://www.michigan.gov/documents/deq/Water_Well_Manual_2013_437334_7.pdf).
10. California Well Standards. (Water wells. Monitoring wells. Cathodic protection wells). Bulletin 74-90 URL:[https://www.countyofglenn.net/sites/default/files/Environmental\\_Health/WP\\_DWR\\_Bulletin\\_74-90.pdf](https://www.countyofglenn.net/sites/default/files/Environmental_Health/WP_DWR_Bulletin_74-90.pdf).
11. Water Education foundation/ Groundwater management <https://www.watereducation.org/aquapedia/groundwater-management>
12. Li, H.S., Son, J.-H., Hanif, A., Gu, J.L., Dhanasekar, A. and Carlson, K. (2017) Colorado Water Watch: Real-Time Groundwater Monitoring for Possible Contamination from Oil and Gas Activities. Journal of Water Resource and Protection, 9, 1660-1687. URL:[https://www.scirp.org/pdf/JWARP\\_20171228\\_16082504.pdf](https://www.scirp.org/pdf/JWARP_20171228_16082504.pdf).
13. State Oil and Natural Gas Regulations Designed to Protect Water Resources, 2017. URL:[https://www.gwpc.org/sites/gwpc/uploads/documents/publications/State\\_Regulations\\_Report\\_2017\\_Final.pdf](https://www.gwpc.org/sites/gwpc/uploads/documents/publications/State_Regulations_Report_2017_Final.pdf).
14. China unveils regulation on groundwater management. URL:[http://www.news.cn/english/2021-11/09/c\\_1310301096.htm](http://www.news.cn/english/2021-11/09/c_1310301096.htm)



15. Положение об управлении подземными водами (Утв. приказом Государственного совета Китайской Народной Республики № 748 от 15 сентября 2021 года) URL:[http://www.gov.cn/gongbao/content/2021/content\\_5654770.htm](http://www.gov.cn/gongbao/content/2021/content_5654770.htm).

16. Rules to cut groundwater exploitation. URL:[http://english.www.gov.cn/news/pressbriefings/202111/23/content\\_WS619c22b6c6d0df57f98e54f9.html](http://english.www.gov.cn/news/pressbriefings/202111/23/content_WS619c22b6c6d0df57f98e54f9.html).

17. Draft guideline groundwater monitoring in the onshore petroleum and geothermal industry, 2015 URL:[https://www.dmp.wa.gov.au/Documents/Environment/Groundwater Monitoring Guideline.pdf](https://www.dmp.wa.gov.au/Documents/Environment/Groundwater%20Monitoring%20Guideline.pdf).

**Т.Г. Ковалёва, З.В. Селина, В.Ю. Жильцова**

ПГНИУ, ООО «ПКБЗ», kovalevatg@mail.ru,  
zoya.kivileva@mail.ru, lera.mics991@gmail.com

## **КАРСТООПАСНОСТЬ ДЕРЕВНИ БАЛАШИ КИШЕРТСКОГО КАРСТОВОГО РАЙОНА**

В статье приводятся результаты комплексной оценки карстоопасности участка карстового массива в деревне Балаши Суксунского городского округа. На территории развит карбонатно-сульфатный тип карста. Практически ежегодно в окрестностях происходят карстовые провалы, некоторые в непосредственной близости жилых домов. По результатам выполненных геофизических и буровых работ установлено сложное геологическое строение участка с резким погружением кровли карстующихся гипсов.

**Ключевые слова:** карстовый провал, карстоопасность, карбонатно-сульфатный карст.

**T.G. Kovaleva, Z.V. Kivileva, V.U. Zhiltsova**

PSU, JSC «Karst Control and Bank Protection», kovalevatg@mail.ru,  
zoya.kivileva@mail.ru, lera.mics991@gmail.com

## **KARST HAZARD OF THE VILLAGE BALASHI OF THE KISHERT KARST DISTRICT**

The article presents the results of a comprehensive assessment of the karst hazard of a plat of a karst massif in the village of Balashi, Suksunsky district. A carbonate-sulfate type of karst is developed on the territory. Almost every year, karst collapses occur in the neighborhood, some in the immediate vicinity of residential buildings. According to the results of the performed geophysical and geological works, a complex geological structure of the site was established with a sharp subsidence of the roof of karst gypsum.

**Keywords:** karst collapse, karst danger, karst hazard, carbonate-sulfate type of karst.

Как известно, в Пермском крае широко развиты карстовые процессы. Территория деревни Балаши Суксунского городского округа представляет собой наглядный пример активного протекания карбонатно-сульфатного карста в непосредственной близости от жилых домов. Согласно карстологического районирования К.А. Горбуновой исследуемый участок входит в состав Кишертского карстового района преимущественно сульфатного и карбонатно-сульфатного карста [1, 2]. Провалообразование на исследуемом участке угрожает жилым домам, а, следовательно, жизни и здоровью жителей.

Территория исследуемого участка приурочена к Предуральскому краевому прогибу. В геоморфологическом отношении участок расположен на Лысьвинско-Тулумбасской возвышенной равнине. Рельеф равнинный, абсолютные отметки варьируются в пределах от 236,0 м до 243,0 м. Общий

уклон поверхности направлен в юго-восточном направлении. Вблизи участка исследования находятся 3 карстовых озера диаметром от 65 до 90 м.

В геологическом строении исследуемой территории по данным бурения карстологических скважин до глубины 90,0 м, принимают участие четвертичные и нижнепермские отложения (рис.1). Четвертичные отложения представлены почвенно-растительным слоем (pQ) и аллювиальными (aQ) суглинками от твердых до тугопластичных, легкими, пылеватыми с включениями щебня и муки известняка, мощностью от 2,2 до 8,8 м. Пермская система представлена терригенными, сульфатными и карбонатными породами иренского горизонта кунгурского яруса нижнего отдела перми ( $P_{1ir}$ ). Известняк от низкой до средней прочности, средневыветрелый, сильно трещиноватый, прослоями разрушенный до состояния щебня, дресвы и муки, с мягкопластичным и твердым глинистым заполнителем, мощностью от 1,3 до 8,3 м. Гипс средней прочности, местами малопрочный, средневыветрелый, с глинистыми прослойками до 10 см, вскрытая мощностью 4,5 м. В толще пермских отложений встречены мощные зоны дробления, представленные глинистым материалом с крупнообломочными включениями скальных пород.

Гидрогеологические условия участка характеризуются наличием одного горизонта подземных вод (до разведанной глубины 90 м). Водовмещающими породами служат известняки, разрушенные до состояния щебня и муки, с прослоями глины, с включениями щебня и муки известняка иренского горизонта. Воды вскрыты на глубине от 52,0 до 60,1 м, устанавливаются на глубине от 52,0 до 52,5 м, подземные воды являются напорными с высотой столба воды 7,6 м. Питание горизонта осуществляется за счёт инфильтрации атмосферных осадков, поверхностных водотоков. По химическому составу воды гидрокарбонатно-сульфатные магниево-кальциевые, сульфатно-хлоридные гидрокарбонатно-магниево-кальциевые, пресные с минерализацией от 0,84 до 0,87 г/дм<sup>3</sup>. По данным карстологического бурения подземные воды являются агрессивными к сульфатным и карбонатным породам.

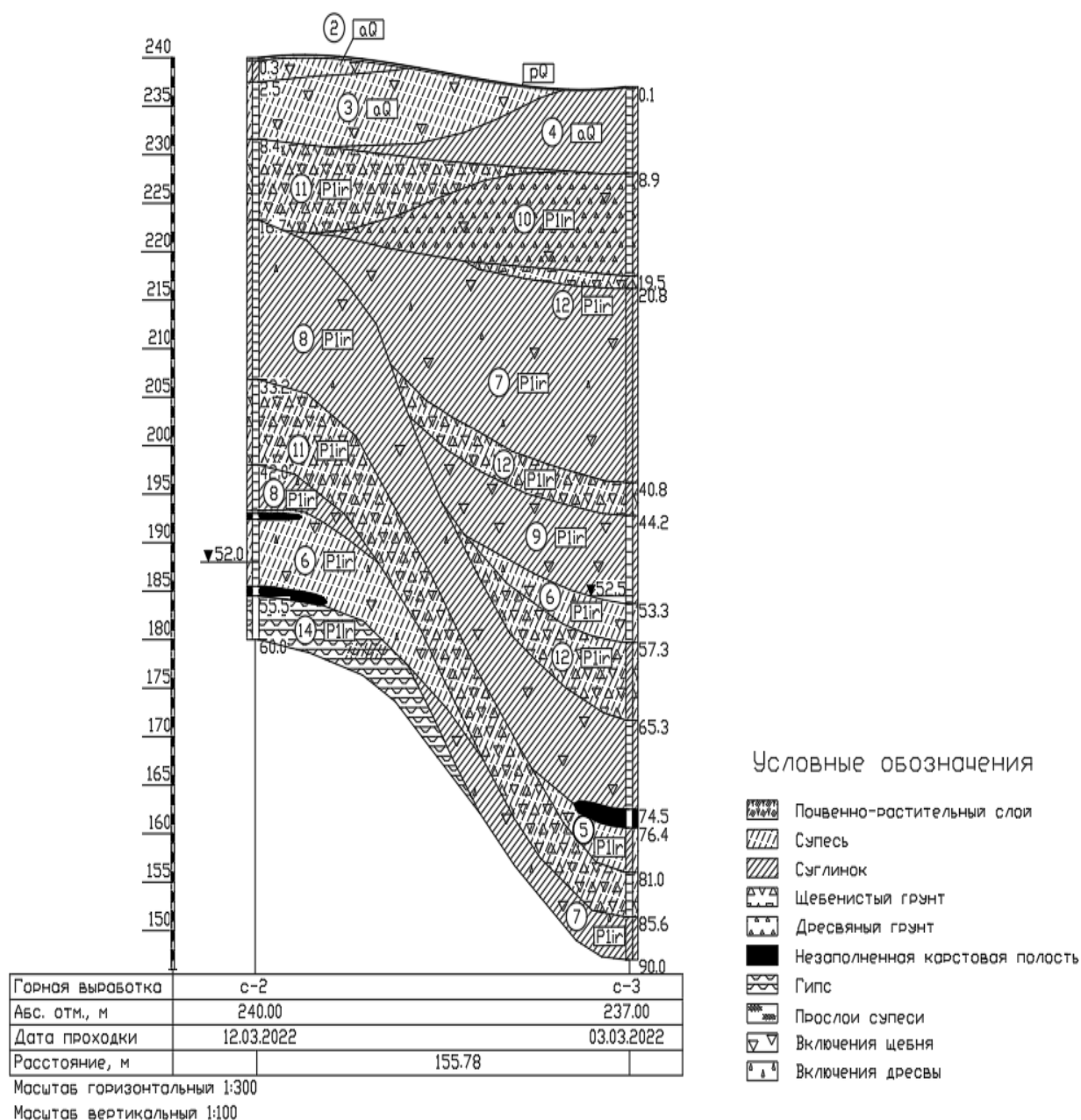


Рис.1. Карстологический разрез исследуемого участка в д. Балаши

По результатам выполненного дешифрирования топокарт и космоснимков на площади 83,95 км<sup>2</sup> (в буфере 5,0 км) было зафиксировано 576 шт. поверхностных карстопоявлений (рис. 2), представленных воронками, понижениями и карстовыми озерами. Из выделенных карстовых форм 427 шт. классифицированы как воронки, 112 шт. – понижения, 3 шт. – провалы и 34 шт. – карстовые озера. Диаметры воронок изменяются от 3,5 до 116,3 м, в среднем составляют 22,7 м; глубина – от 0,4 до 9,0 м (среднее значение – 2,2 м). В морфологическом отношении большинство воронок эллипсовидные в плане, в профиле воронки преимущественно чашеобразные (426 шт.), встречаются также блюдцеобразные (1 шт.). Морфометрические показатели провалов следующие: диаметр – от 6,5 до 26,5 м (среднее значение 13,7 м), глубина – от 3,5 до 25,0 м (среднее значение 16,2 м). В плане преимущественно эллипсовидные, в профиле

провалы чашеобразные. Карстовые озера имеют диаметр от 8,1 до 115,5 м (среднее значение 33,4 м), глубина – от 0,8 до 8,3 м (среднее значение 2,8 м). В плане преимущественно эллипсовидные.

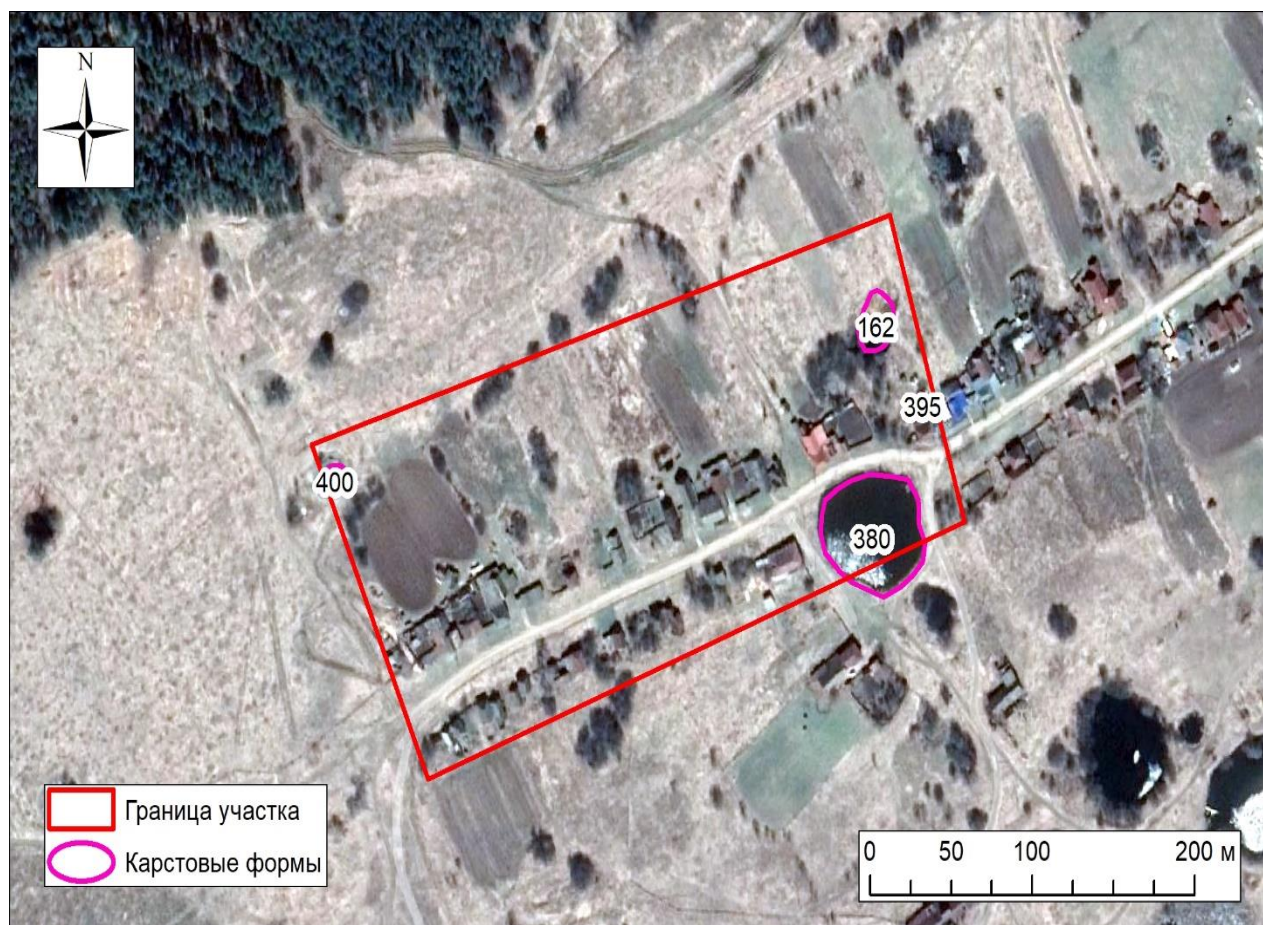


Рис. 2. Карстовые формы в контурах исследуемого участка

Морфометрические показатели карстового озера (рис. 2, №380) следующие: диаметр – от 75,3 до 89,7 м, глубина составляет 8,3 м. В плане озеро эллипсовидное, в профиле – чашеобразное. По словам местных жителей, карстовое озеро, находящееся вблизи жилых домов, увеличивается в диаметре с каждым годом и вскоре может объединиться с соседним карстовым озером.

В деревне часты случаи провалообразования, так в период 2016-2018 гг. образовался эллипсовидный провал (рис. 2, №162) с диаметрами 19,0 х 26,5 м, глубиной 3,5 м. Так же летом 2021 г. ночью произошел эллипсовидный провал (рис. 2, №395) диаметром – от 5,0 х 7,0 м, глубиной приблизительно 20,0-25,0 м, в который провалилась баня. На западе исследуемого участка тем же летом 2021 г. образовался провал глубиной около 20,0 м, диаметром приблизительно 10,0-12,0 м. Провалы ликвидированы путем засыпки щебнем.

Были выполнены геофизические исследования методом вертикального электрического зондирования. По результатам качественной и количественной интерпретации данных ВЭЗ выявлено опускание опорного слоя, представленного сульфатами в восточном направлении. Также выделяется

восточная часть исследуемого участка, характеризующегося низкими значениями удельных сопротивлений, приуроченного к разрушенным до глинистого и крупнообломочного материала карбонатным породам, что подтверждается данными бурения. Западная часть характеризуется наличием слоев с высокими значениями удельных сопротивлений, приуроченных к гипсам. На геоэлектрических разрезах выявлены локальные аномалии пониженных сопротивлений, что свидетельствует о трещиноватости и наличии ослабленных зон в карстовом массиве.

Таким образом, по результатам проведенных исследований установлено резкое падение кровли карстующихся гипсов, что в свою очередь способствует активному протеканию карстовых процессов и провалообразованию на поверхности. Кроме того, были вскрыты подземные карстовые формы: 3 незаполненные карстовые полости, характеризующиеся высотой от 0,6 до 1,9 м, приуроченные к толще разрушенных нижнепермских отложений на глубине от 47,0 до 47,6 м и от 54,5 до 55,5 м в с-2, и на глубине от 74,5 до 76,4 м в с-3.

Помимо собственно карстовых полостей, широкое развитие в массиве пород получили зоны дробления, представленные малопрочным гипсом, известняком очень низкой прочности, сильнотрещиноватым, разрушенным до состояния щебня и известковистой муки. Мощность зон дробления варьируется от 0,3 до 8,3 м.

По результатам полученных материалов было выполнено карстологическое районирование на основе геолого-гидрогеологического строения с учетом геофизических данных, а также по удаленности от ближайшего поверхностного карстопроявления [3, 4, 5], выделено два карстовых участка (рис. 3). Карстовый участок 1 характеризуется меньшей глубиной (55,5 м) залегания карстующихся пород и преимущественно их монолитным состоянием. Карстовый участок 2 характеризуется большей глубиной залегания гипсов (более 90 м). Граница карстового участка 2, выделенная по данным геофизических исследований, соответствует границе удаленности 100 м от карстопроявлений. В буфере удаленности 100 м от карстопроявлений, возможно дальнейшее оседание поверхности земли и образование повторных карстовых провалов. По интенсивности провалообразования участки характеризуются следующими категориями: участок 1 – II-Б (интенсивность провалообразования 0,3 шт./км<sup>2</sup>\*год, расчетный диаметр карстового провала 19,8 м), участок 2 – I-Б (интенсивность провалообразования 1,1 шт./км<sup>2</sup>\*год, расчетный диаметр карстового провала 28,6 м).



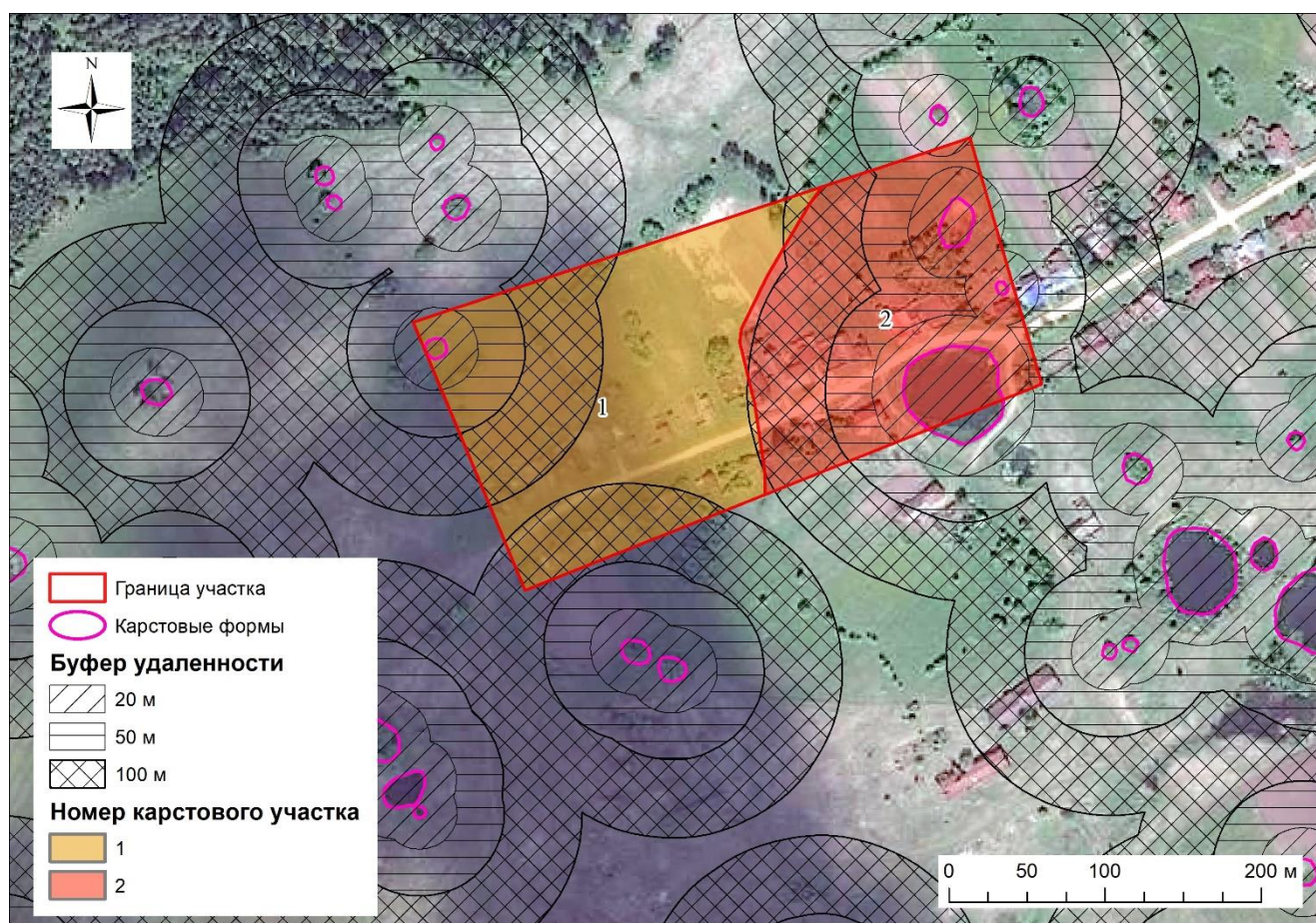


Рис. 3. Районирование исследуемого участка

Таким образом, территории исследуемого участка характеризуется повышенной интенсивностью провалообразования, образование карстовых провалов исключить нельзя, в связи с чем рекомендуется ограничение эксплуатации частных домовладений, в первую очередь, локализованных в границах карстового участка 2 и во вторую очередь в границах карстового участка 1.

#### Библиографический список

1. Горбунова К.А., Андрейчук В.Н., Костарев В.П., Максимович Н.Г. Карст и пещеры Пермской области. Пермь, 1992. 200 с.
2. Максимович Н.Г., Кадебская О.И., Мещерякова О.Ю. Сульфатный карст Пермского края. Пермь, 2021. 302 с.
3. Руководство по инженерно-геологическим изысканиям в районах развития карста. М. ПНИИС. 1995.
4. Ковалёва Т.Г. Оценка карстоопасности территории г. Кунгура на основе общегеологического подхода. // Вестник Пермского университета. Геология. 2016. № 4 (33). С. 18-25.
5. Катаев В.Н., Щербаков С.В., Золотарев Д.Р., Лухая 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.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПЛАТФОРМЫ GOOGLE EARTH ENGINE В ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЯХ

В статье демонстрируются преимущества анализа данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), реализуемого с применением платформы Google Earth Engine. На конкретном примере демонстрируется расчет вегетационных индексов, применение метода классификации поверхности по типу местности, в алгоритме которого реализуется машинное обучение, осуществляемое на серверах Google. Использование вычислительных мощностей Google заметно сокращает время классификации и отличается высоким качеством результата. Сделаны выводы по возможности применения GEE в инженерно-геологических изысканиях, в частности в площадной оценке поверхностной закарстованности карстовых массивов.

**Ключевые слова:** данные дистанционного зондирования земли, Google Earth Engine, инженерно-геологические изыскания, поверхностная закарстованность.

**E.V. Drobina**

Perm State University, alenadrobina@yandex.ru

## THE USE OF GOOGLE EARTH ENGINE IN THE ENGINEERING SURVEYS

The remote sensing data analysis via use of Google Earth Engine platform (GEE) is carried out. The example of the use of vegetation indices calculation, which is carried out on this platform, is given. The method of surface classification by type of terrain, which is based on machine learning method with the use of Google's servers, is demonstrated in the article. The use of computational power of Google markedly reduces the classification time. Moreover, the result of classification is characterized by high quality. Conclusions on the GEE application in geotechnical surveys are made, especially in areal assessment of the surface karst forms distribution.

**Key words:** remote sensing data, Google Earth Engine, geotechnical surveys, surface karst.

На сегодняшний день растущие темпы строительства требуют от инженера-геолога быстрой и качественной оценки инженерно-геологических условий на всех этапах инженерно-геологических изысканий. С этой целью давно и успешно в изысканиях используются данные дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ): космоснимки, аэрофотоснимки. Сейчас в руках инженера-геолога имеется обширный инструментарий по обработке ДЗЗ для решения тех или иных проблем.

Данная статья посвящена обзору облачной платформы Google Earth Engine (GEE), используемой для геопространственного анализа. Каталог наборов геопространственных данных GEE содержит [7]:

- космоснимки (например, коллекции Landsat, Sentinel-1, Sentinel-2);

- прогнозные климатические модели;
- карты типов растительности;
- геофизические и социально-экономические наборы данных и пр.

GEE также взаимодействует со сводными таблицами Google [6], веб-базой данных, которая поддерживает таблицы геометрических данных (точки, линии и полигоны) с атрибутами [7]. Благодаря последнему данная платформа весьма интерактивна в отношении геоинформационных систем, объекты которых могут быть как импортированы в GEE, так и экспортированы из нее в растровом и векторном формате для последующего анализа с применением ГИС (ArcGIS, QGIS, Global Mapper и пр.)

В рамках исследования с применением GEE оценена поверхностная закарстованность северо-западного участка Кишертского муниципального округа Пермского края России, в окрестностях деревни Подпавлиново. На данной площади ранее в рамках проекта по теме «Мониторинг закарстованных территорий Пермской области» (2006-2010 гг.) исследователями-карстоведами лаборатории прогнозного моделирования в геосистемах ПГНИУ в ходе обработки архивных материалов и рекогносцировочного обследования карстовые формы были подтверждены и детально описаны. Ниже, на рисунке представлено типовое распределение значений диаметров зафиксированных карстовых воронок (рис.1), по которому можно сделать вывод, что на изучаемой площади встречаются, в основном, воронки диаметром 15-35 м.

Кишертский административный район в соответствии со схемой районирования карста Пермского края относится к одноименному району развития преимущественно гипсового и карбонатно-гипсового карста [1]. В структурно-тектоническом отношении территория приурочена к зоне сочленения северной части Уфимского вала (восточная окраина Восточно-Европейской платформы) и Предуральяского прогиба. Широкое развитие тектонических нарушений, отчетливо прослеживающихся на аэрофото- и космоснимках, свидетельствует о положении изучаемой территории в тектонически активной зоне, характеризующейся повышенной трещиноватостью пород, что благоприятствует развитию карстового процесса.



Рис. 1. Кривая распределения средних значений диаметров карстовых воронок

Кроме тектонического фактора, развитие карстового процесса на исследуемой территории обуславливается приуроченностью к долине р. Сылвы, где имеются все предпосылки для инфильтрации подземных вод вглубь карстового массива и их дренажа в направлении к русловой части реки.

В геологическом строении исследуемой территории принимают участие карстующиеся отложения артинского, кунгурского ярусов нижней перми, представленные карбонатными, сульфатно-карбонатно-глинистыми породами; неоген-четвертичные карстово-обвальные отложения; аллювиальные и аллювиально-делювиальные четвертичные образования: супеси, глины, суглинки с дресвой и щебнем коренных пород.

Поверхностные формы карста представлены карстовыми озерами, воронками, реже блюдцами оседания. Дно и склоны воронок иногда осложняют поноры. По форме в плане большинство воронок имеют овальную и круглую форму, по форме в разрезе – блюдцеобразную и чашеобразную форму. Выделяется как беспорядочное, так и линейное расположение карстовых воронок, последнее зачастую приурочено к разрывным нарушениям. Одним из типовых геоботанических признаков карстовых воронок, развитых в Пермском крае, можно назвать наличие кустарниковой растительности, которая на космоснимках хорошо дешифрируется на фоне луговой.

Оценка поверхностной закарстованности территории с применением GEE в первом приближении сводится к расчету различных вегетационных индексов с использованием космических снимков Sentinel-2 MSI: MultiSpectral Instrument, Level-2A за летний период (май-август 2021 года).

В качестве примера можно привести NDVI – нормализованный вегетационный индекс, показывающий наличие и состояние растительности (относительную биомассу, рис. 2). Этот индекс основан на контрасте характеристик двух каналов из набора мультиспектральных растровых данных: красного (RED), где лежит максимум поглощения солнечной радиации хлорофиллом растений, и ближнего инфракрасного (NIR), где находится область максимального отражения растениями:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

Расчет данного индекса для измерения экологических и климатических характеристик растительности применяется достаточно давно, с 1974 г., когда о нем было впервые упомянуто [10]. Отрицательные значения этого индекса (-0,05 – -0,25) характеризуют области без растительности – облака, вода или снег; значения близкие к -0,5 – -1,0 – техногенно спланированные участки (асфальт, бетон). Умеренные значения (0,5) соответствуют травянистым и кустарниковым областям, высокие (1,0) – обозначают леса и пышную растительность.

Кроме описанного индекса, карстовые формы хорошо дешифрируются с использованием индексов SAVI, NDSI, IPVI, GNDVI, ARVI, VARI (табл. 1). Данные индексы позволяют выделять карстовые формы, которые при визуальном анализе спутниковых снимков не дешифрируются (рис. 3).



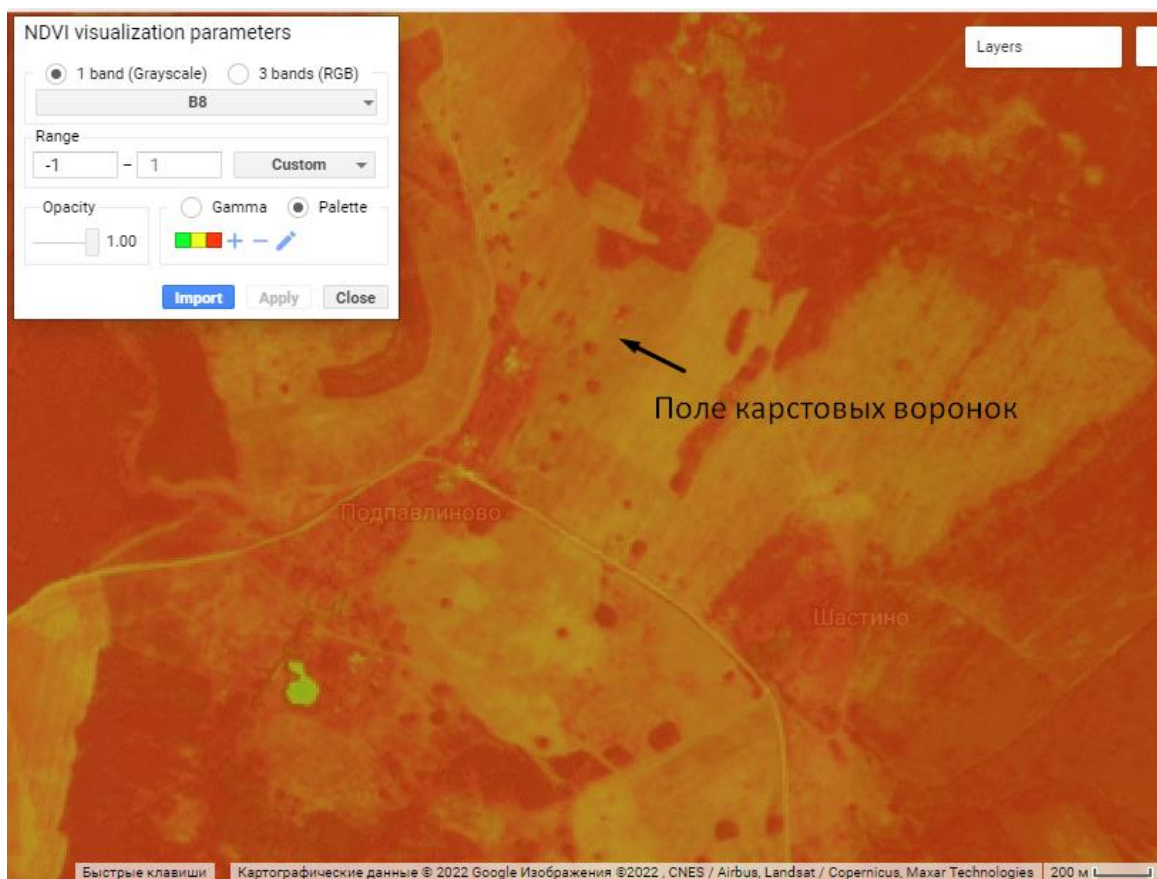


Рис. 2. Пример расчета индекса NDVI для закарстованного участка (Пермский край)

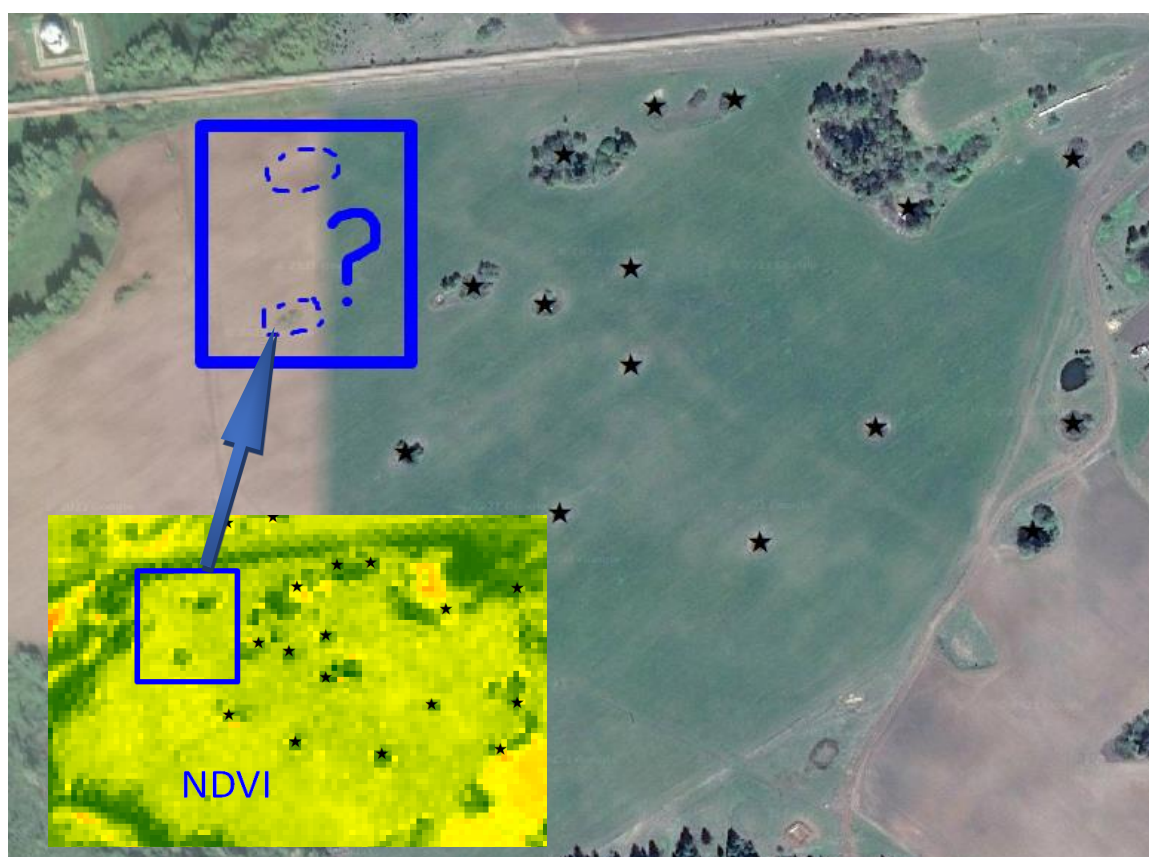


Рис. 3. Пример дешифрирования карстовых форм с помощью индекса NDVI

Таблица 1. Вегетационные индексы, использованные при анализе данных ДЗЗ

Вегетационный индекс (ВИ)	Краткое описание	Автор и ссылка на публикацию
SAVI*	Почвенный ВИ (Soil Adjusted Vegetation Index)	Huete A.R., 1988 [8]
IPVI	Инфракрасный ВИ (Infrared Percentage VI)	Crippen R.E., 1990 [5]
GNDVI**	Зеленый нормализованный относительный ВИ (Green Normalized Difference Vegetation Index)	Susantoro T.M. et al., 2018 [11]
ARVI	ВИ устойчивый ко влиянию атмосферы (Atmospherically Resistant VI)	Kaufman Y.J. and Tanre D., 1992 [9]
VARI	Видимый атмосферостойкий ВИ (Visible Atmospherically Resistant Index)	Susantoro T.M. et al., 2018 [11]

\* Этот индекс лучше использовать в районах с разреженной вегетативной массой, где почва видна сквозь растительный покров. Для изучаемой территории пригоден на космоснимках весеннего периода.

\*\*Характеризует фотосинтетическую активность растений и применяется для поиска насаждений, испытывающих дефицит или переизбыток влаги, также определяются растения других видов (сорняки), находящиеся на территории сельхозугодий.

Статистический анализ распределения карстовых форм в зависимости от рассчитанных индексов показывает нормальный характер распределения с выраженной асимметрией в сторону больших значений (рис.4). Исключением является только индекс VARI, для которого асимметрия не наблюдается.

Так, например карстовые воронки, зафиксированные на изучаемой площади большей частью попадают на территорию со значением NDVI – 0,8-1,0, IPVI – 0,9-1,0, ARVI – 0,8–0,9, GNDVI – 0,6–0,8, SAVI – 1,2–1,4. Относительно высокие значения рассчитанных индексов являются также отражением того, что борта и днища карстовых воронок на изучаемой площади покрыты кустарниковой растительностью, которая при расчете индексов весьма успешно дешифрируется на фоне луговой. Кроме того, принимая во внимание тот факт, что воронки на изучаемой территории являются областью, к которой направлен поверхностный и подземный сток – областью разгрузки вод в трещинно-карстовые коллекторы, разница в увлажнении карстовых воронок и окружающей поверхности может быть уловима при расчете индексов, в то время как при визуальном дешифрировании не видна (рис. 3).

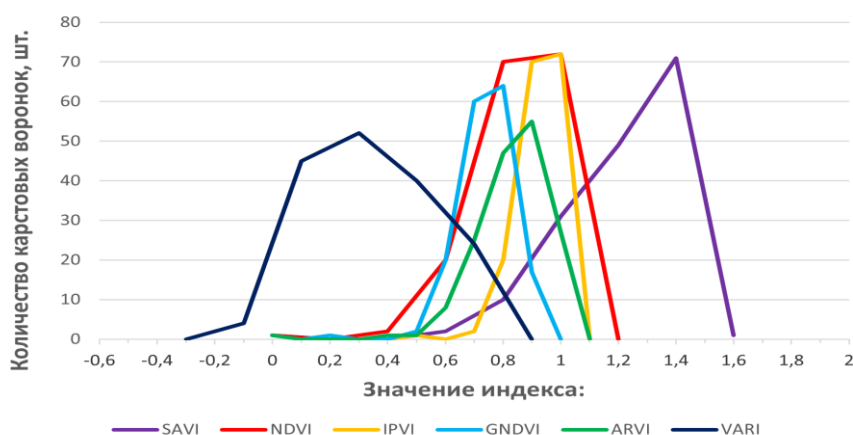


Рис. 4. Кривые распределения карстовых воронок в зависимости от значений вегетационных индексов



Таким образом, на открытых луговых участках закарстованных территорий, применение анализа данных ДЗЗ, в частности расчета вегетационных индексов, может быть весьма информативным для площадной оценки поверхностной закарстованности. Так, автоматическая векторизация растровых моделей индексов, классифицированных на интервалы с выделением наиболее опасного, отвечающего пиковому участку кривой распределения карстовых форм, позволит говорить о процентной пораженности территории карстовыми формами и о плотности их распределения.

Главным преимуществом анализа данных ДЗЗ с применением данной платформы является то, что обработка ведется на серверах компании Google с использованием их вычислительных мощностей. Например, приобретающие популярность и широко освещаемые в современной литературе методы машинного обучения благодаря высокой производительности облачных ресурсов реализуются на платформе за короткое время. Кроме того, возможность использования алгоритмов машинного обучения посредством данной платформы доступна людям, работающим в смежных областях, не связанным напрямую с дистанционным зондированием.

#### *Дополнительные возможности платформы GEE*

В среде GEE реализована модель классификации поверхности. Пользователем задается некоторый набор данных, характеризующих тот или иной тип поверхности. Затем программный алгоритм обрабатывает входной набор слоев спутникового изображения (Bands) и на основе этих данных на выходе имеется растровое изображение, классифицирующее изучаемую территорию на выделенные пользователем типы.

Качество итогового изображения напрямую зависит от качества входных данных, количества «образцов», заданных пользователем. Чем выше детальность исследования, тем лучшее разрешение требуется от входного спутникового изображения. Разумеется, чем больше «образцов» определит пользователь, тем адекватнее будет результат. В качестве образцов используются такие типы местности: реки (river), леса (woods), населенные пункты и дороги (urban), участки с травянистым покрытием (fields). Однако, набор образцов может быть расширен, и результирующая растровая поверхность разделена на большее количество классов с целью повышения информативности анализа.

Метод классификации спутниковых изображений весьма упрощает предварительную количественную оценку природных условий. Например, данный метод обработки спутникового изображения весьма полезен для финансово-экономического обоснования работ, так как удобен для оценки категории проходимости территории полосы отвода проектируемых объектов.

При площадной оценке поверхностной закарстованности данный метод позволит автоматизировать процесс векторизации участков различного типа местности: выделить луговые участки, в пределах которых будет оценена поверхностная закарстованность с использованием описанного ранее анализа с применением вегетационных индексов.

Преимуществом анализа данных ДЗЗ с использованием платформы GEE также является возможность проведения мониторинга опасных инженерно-

геологических процессов на больших территории, особенно там, где затруднены непосредственные наблюдения. Здесь в качестве примера можно привести термокарстовые явления. Так рядом ученых отмечается в связи с повышением среднегодовой температуры воздуха изменение площадей термокарстовых блюдеч для территории Западной Сибири [3, 4]. Ранее автором в среде GEE [2] с использованием разновременных космических снимков удалось проследить динамику изменения площадей, что доказывает возможность применения данной платформы в целях мониторинга процессов, в частности, происходящих в районе развития многолетнемерзлых пород.

Резюмируя вышесказанное, можно сделать вывод, что использование платформы GEE в инженерно-геологических изысканиях значительно упростит анализ данных ДЗЗ, применение которых необходимо для оценки-инженерно-геологических условий, особенно если речь идет о территориях, труднодоступных для проведения непосредственных наблюдений.

#### *Выводы*

Платформа GEE делает анализ данных ДЗЗ доступным специалистам смежных направлений, не связанных напрямую дистанционным зондированием. Платформа содержит в свободном доступе наборы данных высоко качества, имеются наборы данных с атмосферной коррекцией. Кроме обработки снимков непосредственно в среде GEE, возможен экспорт растровых и векторных данных в форматы, с которыми работает большинство ГИС.

#### **Библиографический список**

1. 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.
2. Дробинина Е.В. Опыт использования платформы Google Earth Engine для оценки площадей термокарстовых озер // Аэрокосмические методы в геологии [Электронный ресурс]: сборник научных статей / под общей ред. И.С. Копылова. Пермь, 2021. Вып. 3. С. 289-294.
3. Кирпотин С.Н., Полищук В.Ю. Прогнозирование динамики термокарстовых озер в зоне многолетней мерзлоты на основе космических снимков и математического моделирования // BioClimLand, 2013, no 1, pp.48-57.
4. Полищук Ю.М., Куприянов М.А., Полищук В.Ю. Исследование особенностей динамики термокарстовых озер Западной Сибири и Таймыра с использованием спутниковых снимков // Материалы Девятнадцатой международной конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса (Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов)». XIX.F.90.
5. Crippen, R. E. Calculating the Vegetation Index Faster // Remote Sensing of Environment, vol 34., 1990. pp. 71-73.
6. Gonzalez, H., Halevy, A.Y., Jensen, C.S., Langen, A., Madhavan, J., Shapley, R., et al. Google fusion tables: web-centered data management and collaboration. ACM SIGMOD 1061-1066. 2010.
7. Gorelick N., Hancher M., Dixon M., Ilyushchenko S., Thau D., Moore R. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone // Remote Sensing of Environment. Vol. 202. 2017, pp. 18-27.
8. Huete, A.R. A Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI) // Remote Sensing of Environment, 25, 1988. pp. 295-309. [http://dx.doi.org/10.1016/0034-4257\(88\)90106-X](http://dx.doi.org/10.1016/0034-4257(88)90106-X)
9. Kaufman, Y. J., Tanre, D. Atmospherically resistant vegetation index (ARVI) for EOS-MODIS // in Proc. IEEE Int. Geosci. and Remote Sensing Symp. 92, IEEE, New York, 1992. pp. 261-270.

10. *Rouse J.W, Haas R.H., Scheel J.A., Deering D.W.* Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS // Proceedings, 3rd Earth Resource Technology Satellite (ERTS) Symposium, vol. 1, 1974. pp. 48-62.
11. *Susantoro T.M., Wikantika K., Saepuloh A., Harsolumakso A.H.* Selection of vegetation indices for mapping the sugarcane condition around the oil and gas field of North West Java Basin, Indonesia // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2018. p.149.
12. *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-кишерт) // Вестник Пермского Университета. Геология. 2017. т. 16. № 3. с. 242-255

## **ИНТЕГРАЛЬНАЯ ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ЭКОСИСТЕМ: ОБЗОР ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ИНЖЕНЕРНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЙ**

Оценку состояния экосистем при изысканиях достоверно можно проводить по интегральным системным показателям. В нормативно-технических документах по изысканиям такие показатели не рассматриваются. Проведен анализ используемых исследователями интегральных показателей состояния природных систем, показана их сложность, субъективность и несоответствие целям и возможностям инженерных изысканий. В качестве интегрального показателя предлагается использовать качество средообразующей функции экосистемы, определяемое по степени проективного покрытия растительности фитоценоза в пределах биотопа. Проективное покрытие более 50 % характеризует устойчивую средообразующую функцию экосистемы.

**Ключевые слова:** инженерно-экологические изыскания, оценка состояния, интегральные показатели, экосистема, биотоп, средообразующая функция, проективное покрытие.

**T.I. Karavaeva, V.P. Tihonov**  
Natural Sciences Institute of Perm State University,  
karavaeva-ti@list.ru

## **INTEGRATED ASSESSMENT OF THE STATE OF ECOSYSTEMS: A REVIEW OF INDICATORS FOR ENGINEERING AND ENVIRONMENTAL SURVEYS**

Assessment of the state of ecosystems during surveys can be reliably carried out according to integral system indicators. Such indicators are not taken into account in the normative and technical documents of the survey. An analysis of the integral indicators of the state of natural systems used by researchers was carried out. Their complexity, subjectivity and inconsistency with the goals and capabilities of engineering surveys are shown. The projective vegetation coverage of the phytocenosis within the biotope is proposed to be used as an integral indicator. The projective cover of more than 50 % characterizes the stable environment-forming function of the ecosystem.

**Keywords:** engineering and environmental surveys, state assessment, integral indicators, ecosystem, biotope, environment-forming function, projective cover.

Инженерно-экологические условия, для оценки которых проводятся изыскания, включают совокупность характеристик компонентов и факторов окружающей среды, влияющих на градостроительную и иную деятельность. Экологическая безопасность планируемой деятельности непосредственно зависит от степени этого влияния. В проектной документации оценивается допустимость ожидаемых воздействий и формулируется решение о возможности строительства объектов. Результаты инженерно-экологических решений являются основой для разработки оценки воздействия на окружающую среду

(ОВОС) (п. 4.3 СП 502.1325800.2021). Оценить планируемые последствия воздействий градостроительной деятельности можно только через прогнозирование, разрабатываемое в материалах изысканий. Начальным этапом прогнозирования является оценка существующего состояния биотических компонентов территории изысканий, представляющая определенную сложность, поскольку методика ее проведения не разработана. Регламентируемые нормативно-технической документацией (СП 502.1325800.2021) процедуры исследований перегружены излишней информацией, ориентированы на специализированных высокопрофессиональных исполнителей. Результаты таких исследований не позволяют выполнить корректный прогноз ожидаемых последствий строительства.

Современный уровень знаний не всегда позволяет достаточно точно описать структуру и функции природных систем. Показатели состояния экосистемы должны иметь системный, интегральный характер, но одновременно быть простыми в определении, доступными широкому кругу изыскателей, исполнителям градостроительной документации.

В глобальном понятии биосферы не существует экосистем, не выполняющих свои биосферные функции. Естественный отбор не допускает такой ситуации. Все экосистемы «завоевывают» право на свое существование в различных природно-климатических зонах на основе единой средообразующей функции. Структурные особенности, биоразнообразие, количество органической продукции и т.п. в экосистемах существенно различаются и являются вторичными признаками.

Оценка экологического благополучия экосистем в последние годы приобретает важнейшее значение среди исследователей. Для водных объектов вводится понятие «хорошая» или «оптимальная» экосистема. Признаками (уровнями) экологически благополучной системы предлагается считать [1,14]: оптимальную продукцию ресурсного звена, оптимальную биомассу ресурсного звена, максимальное видовое разнообразие биоты, высокое качество среды, высокую устойчивость к изменению параметров режимов, низкую скорость токсического загрязнения, высокую скорость самоочищения, способность сохранять вышеназванные признаки определенное время.

Перечисленные признаки отчетливо демонстрируют субъективность качественных градаций: оптимальное, максимальное, высокое, низкое. Очевидна большая сложность и значительные временные затраты на определение показателей. Отсутствует понимание эмерджентности экосистемы и выполняемых функций как основного показателя целесообразности ее существования в биосфере.

По мнению ряда авторов [3] эмерджентным свойством геосистем является устойчивость. В многочисленных публикациях это понятие представлено как чрезвычайно субъективное, сложное по структуре и функциям, методам оценки состояния природной системы. Понимая, что эмерджентные свойства системы в принципе невозможно измерить, авторы используют косвенные методы оценки состояния, разрабатывают оценочные шкалы, ранжируя устойчивость ландшафтов [2], предлагают модели-классификации интегральной оценки

устойчивости, основанные на многочисленных параметрах, отражающих субъективное отношение к приоритету оценивания этих параметров. При этом преобладают балльные и балльно-индексные методы оценивания. Оценка потенциальной устойчивости наземного ландшафта к изменению параметров естественного режима (потенциальная устойчивость) проводится с использованием индекса потенциальной устойчивости ландшафта. В моделях интегральной оценки потенциальной устойчивости часто используется методика анализа и синтеза показателей при информационном дефиците (АСПИД) [13], но аргументация выбора показателей имеет субъективный характер.

Применяемые авторами [6] градации устойчивости: низкая, средняя, высокая и т.п., также субъективны. Границы классов не обосновываются. В природной среде они всегда являются интервалом численных значений, своеобразным экотонном.

Согласно С.А. Пегову [9], устойчивым следует считать развитие, не выходящее за пределы ёмкости биосферы, сохраняющее её функции как самоорганизованной и саморегулирующейся системы. Следует отметить, что ёмкость биосферы в практически корректных значениях исследователями не определена. Оценка качества функций системы методически не разработана.

Исследователи [15] приходят к выводу о том, что «не существует признанного стандарта или международного признанного правила для определения количества и типа переменных, которые должны быть включены в количественную оценку состояния окружающей среды».

Часто признается факт отсутствия единого метода определения устойчивости и поэтому приходится ограничиваться только самым необходимым набором признаков, которые можно достоверно определить [4].

В отношении абиотического компонента экосистемы – почвы, исследователями также рассматриваются многочисленные показатели устойчивости, но не один не отражает функции почв как системы. А.С. Федоровым [12] предложены следующие параметры устойчивости почв к антропогенному воздействию: гранулометрический состав, минеральный состав, мощность гумусового горизонта, содержание гумуса в гумусовом горизонте (%) и запасы гумуса в верхних 20 см (т/га), тип гумуса по соотношению гуминовых и фульвокислот, рН, Eh, содержание подвижных форм химических элементов, содержание аморфных гидроксидов железа и алюминия, наличие карбонатов. Автор подчеркивает приоритет значимости более стабильных генетических параметров (гранулометрический и минеральный состав, запасы гумуса) перед динамичными (восстановительный потенциал и т.д.).

Согласно В.В. Снакину с коллегами [7], показателями устойчивости почв являются: ЕКО, мощность гумусового горизонта, водный режим, положение в ландшафте (аккумулятивное, транзитное, элювиальное), крутизна склона. Первые два показателя отвечают за иммобилизацию загрязняющих веществ, второй и третий – за самоочищение почвы.

Анализ многочисленных исследований показывает, что оценка устойчивости является сложной и дискутируемой проблемой, поскольку определяется значительным количеством неравновесных оценочных критериев и имеет



комплексный характер. Главная причина получаемых неоднозначных результатов, по мнению авторов, заключается в том, что почва, как и территория изысканий, не рассматриваются как экосистема с характерными функциями, определяющими ее местоположение в биосфере. Выполняемые функции не рассматриваются в качестве предмета исследований. Почва и фитоценоз как подсистемы являются базисом любой наземной экосистемы и определяют формирование и качество функционирования всех других компонентов [5].

Инженерно-экологические изыскания, являясь видом градостроительной деятельности, не предполагают проведения специфических детальных исследований; на это у Заказчика (Инвестора) просто нет средств и времени. Требования Свода правил инженерно-экологических изысканий вступают в очевидное противоречие с возможностями Инвестора намечаемой деятельности, предлагая излишнюю детализацию биотопических исследований, часто не соответствующих целям прогноза и оценки воздействия проектируемого объекта на природную среду. Изыскания как основа для разработки ОВОС и соответствующих разделов проектной документации и системный подход в достижении целей изысканий имеют принципиальное значение и определяют методологию исследований.

В основе методологии системного подхода находятся понятия объекта и предмета изысканий. Объектом является собственно экосистема, на локальном уровне исследований представленная биотопом, в пределах которой планируется хозяйственная деятельность. Проблема изысканий заключается в выборе и оценке предмета исследований. Очевидно, что для оценки состояния экосистемы необходимо установить качество выполняемых биосферных функций.

К основным средообразующим функциям природных экосистем исследователи относят: поддержание биогеохимических циклов вещества; поддержание газового баланса и влажности атмосферы; стабилизацию климатических показателей; формирование устойчивого гидрологического режима территорий и самоочищение природных вод; формирование биопродуктивности почв и защиту их от эрозии; уменьшение интенсивности экстремальных природных явлений [8].

Исследователями установлено, что изменение таксономических показателей (видовое богатство, альфа-, бета-, гамма-разнообразие, видовая выровненность) приводит к незначительному влиянию на экологические (средообразующие) функции в сравнении с изменением функциональных признаков: функциональное богатство, функциональная выровненность и др. [17]. При этом видовое разнообразие может рассматриваться как буферный механизм функционирования экосистем, обеспечивающий надежность протекания экосистемных процессов в условиях изменения окружающей среды [16]. Этот вывод доказывает приоритетность выполняемых функций перед биоразнообразием и многочисленными показателями устойчивости экосистемы. Природа всегда выбирает функцию как цель своего существования, а все остальное условно относится к инструментам достижения цели.

Наиболее доступной для целей инженерно-экологических изысканий, как вида градостроительной деятельности, и обоснованной с фундаментальных позиций,

является качественная оценка продукционной функции, которая находится в начале процесса биогеоценотического круговорота вещества. Эффективность создания первичной органической продукции это основа всех трофических цепей экосистемы и биогеоценотического круговорота вещества [11], которая определяет качество средообразующих функций экосистем. Решающую роль в образовании органического вещества в пределах экосистемы играет фитоценоз, представленный различными сообществами растительности, при этом фитоценотические функции этой подсистемы тесно сопряжены с выполняемыми другими подсистемами зооценотическими и микроценотическими функциями. Совместное функционирование подсистем создает эмерджентные свойства всей экосистемы. Фотосинтез, осуществляемый надземными частями растительности, является триггером круговорота вещества и зависит от поглощенной радиации солнца и объема органического вещества, участвующего в процессе. Задача заключается в выборе максимально информативного интегрального показателя объема органического вещества, участвующего в процессе фотосинтеза, при минимальной сложности его определения. В качестве такого показателя предлагается использовать общее проективное покрытие травяной растительности. На уровне инженерно-экологических изысканий, являющихся видом градостроительной деятельности, не имеет смысла непосредственно определять объем надземной биомассы ввиду значительной вариабельности в зависимости от природно-климатических зон, стадий восстановительной сукцессии, наличия различных сообществ растительности в пределах оцениваемого биотопа. Общее проективное покрытие – один из ключевых биометрических параметров, определяющих состояние растительности. Горизонтальная проекция надземных частей растений на поверхность почвы определяет площадь покрытия, а средняя высота многолетней растительности биотопа, позволяет определить объем фотосинтезирующей части. Показатель предельно простой в определении и информативный для целей инженерных изысканий. В градацию проективного покрытия более 50 % по В.Н. Сукачеву [10] входят: открытый невыработавшийся и закрытый выработавшийся фитоценозы, что соответствует стадии сформировавшегося фитоценоза, обеспечивающего устойчивую средообразующую функцию. Соответственно, оценка состояния экосистемы как объекта изысканий выражается в наличии устойчивой средообразующей функции или ее отсутствии. Результаты оценки экосистемы по проективному покрытию достаточно просто интерпретировать в прогноз изменений и последующую оценку воздействия на окружающую среду.

Общее проективное покрытие растительности биотопов открытых пространств более 50 % свидетельствует о сформировавшейся устойчивой средообразующей функции экосистемы, на локальном уровне представленной биотопом, и может использоваться в экспресс-оценках биотического состояния территории при инженерно-экологических изысканиях. Показатель интегрально отражает качество продукционной функции экосистемы, предельно просто определяется в полевых условиях, не требует специализированных компетенций,

финансовых и временных затрат на изучение, позволяет уверенно прогнозировать тренд развития экосистемы в среднесрочной перспективе в виде последствий воздействия проектируемого объекта.

При инженерно-экологических изысканиях предлагается использовать самые простые доступные интегральные показатели, отражающие функционирование экосистемы в ранге биотопа открытого пространства, одним из которых является общее проективное покрытие растительности.

### Библиографический список

1. Дмитриев В.В. Эколого-географическая оценка состояния внутренних водоемов: дис. ... д-ра. географ. наук. СПб., 2000. 416 с.
2. Alekseeva O.N., Dmitriev V.V., Guzheva L.N. The development of approach to the water reservoir ecological prosperity assessment // 3rd International Symposium «Quality and Management of Water Resources» Saint Petersburg, Russia, June 16-18. 2005. Book of proceedings. P. 9–17.
3. He Y.X., Jiao Z., Yang J. Comprehensive evaluation of global clean energy development index based on the improved entropy method. *Ecological Indicators*. 2018. Vol. 88. P. 305–321. DOI: 10.1016/j.ecolind.2017.12.013.
4. Hooper D.U., Chapin F.S., Ewel J.J., Hector A., Inchausti P., Lavorel S., Lawton J.H., Lodge D.M., Loreau M., Naeem S., Schmid B., Setälä H., Symstad A.J., Vandermeer J., Wardle D.A. Effects of biodiversity on ecosystem functioning: a consensus of current knowledge. *Ecological Monographs*. 2005. Vol. 75. № 1. P. 3–35.
5. Mokany K., Ash J., Roxburgh S. Functional identity is more important than diversity in influencing ecosystem processes in a temperate native grassland. *Journal of Ecology*. 2008. Vol. 96. № 5. P. 884–893.
6. Дмитриев В.В., Огурцов А.Н., Морозова А.С., Пилюгина А.А., Свердлов О.А., Сиротина П.М., Федорова М.Е., Черепанов С.В., Шакуров В.А. Интегральная оценка устойчивости ландшафтов: модели, результаты, перспективы // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2017. № 9. С. 110–114.
7. Дмитриев В.В., Огурцов А.Н., Седова С.А., Алексеева А.А., Байжанова К.К., Грига С.А., Кислина А.Е. Интегральная оценка устойчивости наземных ландшафтов: от балльных оценок к композитным индексам на основе территориальных детерминант // Успехи современного естествознания. 2020. № 2. С. 45–53.
8. Зуева Н.В., Примак Е.А., Бабин А.В., Зуев Ю.А., Урусова Е.С. Интегральная оценка экологического благополучия малых рек Ленинградской области и Санкт-Петербурга // География и природные ресурсы. 2021. № 2. С. 32–40.
9. Меньшикова Е.А., Караваева Т.И., Хайрулина Е.А., Митракова Н.В. Особенности грунтов и потенциал восстановления природно-технической системы «Хвостохранилище ЕВРАЗ КГОК» // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2021. Т. 332. № 9. С. 54–66.
10. Огурцов А.Н., Бахматова К.А. Интегральная оценка и пространственный анализ потенциальной устойчивости почвенного покрова урбанизированной территории к загрязнению тяжелыми металлами // ИНТЕРКАРТО. ИНТЕРГИС. 2016. Том 22. № 2. С. 232–243.
11. Павлов Д.С., Букварева Е.Н. Биоразнообразие и жизнеобеспечение человечества // Вестн. Российск. акад. наук. 2007. Т. 77. № 11. С. 974–986.
12. Пегов С.А. Устойчивое развитие биосферы // Вестник РАН. 2007. Т. 77. № 12. С. 1069–1076.
13. Снакин В.В., Мельченко В.Е., Бутовский Р.О. и др. М. Оценка состояния и устойчивости экосистем: ВНИИприрода, 1992. 128 с.
14. Сукачѳ В.Н. Биогеоценоз как выражение взаимодействия живой и неживой природы на поверхности Земли: соотношение понятий «биогеоценоз», «экосистема», «географический

ландшафт» и «фация» // Основы лесной биогеоценологии / под ред. В.Н. Сукачёва, Н.В. Дылиса. М.: Наука, 1964. С. 5–49.

15. *Тишков А.А.* Биосферные функции и экосистемные услуги ландшафтов степной зоны России // Аридные экосистемы. 2010. Т. 16. № 1 (41). С. 5–15.

16. *Федоров А.С.* Устойчивость почв к антропогенным воздействиям. СПб.: Изд-во С.-Петербург. ун-та, 2008. 204 с.

17. *Хованов Н.В.* Анализ и синтез показателей при информационном дефиците. СПб, 1996. 196 с.

18. *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

## **МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УДЕЛЬНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ В ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ**

В статье рассмотрены методические вопросы, связанные с изучением удельного электрического сопротивления в лабораторных условиях. На основании проведённых экспериментальных исследований выявлены факторы, влияющие на определение электрических параметров, необходимые для их учёта, предложены пути развития методики.

**Ключевые слова:** физические свойства, лабораторные измерения, удельное электрическое сопротивление, методика.

**A.V. Tatarkin, D.V. Shikanov**  
ООО NIDP "NEDRA", vsto08@mail.ru

## **METHODICAL ASPECTS OF DETERMINING THE ELECTRICAL RESISTIVITY UNDER LABORATORY CONDITIONS**

The article considers the methodological issues related to the study of electrical resistivity in laboratory conditions. On the basis of the carried out experimental researches the factors influencing the definition of electric parameters are revealed, the ways of development of the technique are offered.

**Key words:** physical properties, laboratory measurements, electrical resistivity, method.

Уточнение физических свойств пород является важным при оценке инженерно-геологических условий [3]. С одной стороны это обусловлено определением литологического состава, физического состояния и коррозионной агрессивности среды, а с другой – повышением эффективности использования методов геофизических исследований. Привлечение параметрических данных позволяет значительно сократить процесс истолкования геолого-геофизических данных при детализации в сложных условиях и выявлении несоответствий между физико-пространственными характеристиками.

Как правило, в лабораторных условиях, наряду с определяемыми физическими и механическими свойствами, изучают электрические параметры (удельное сопротивление, плотность тока), которые используются для оценки коррозионной агрессивности среды. В соответствии с нормативными документами [1] измерения выполняют в ячейках при нарушении структуры проб и их предварительной подготовке (рис. 1).

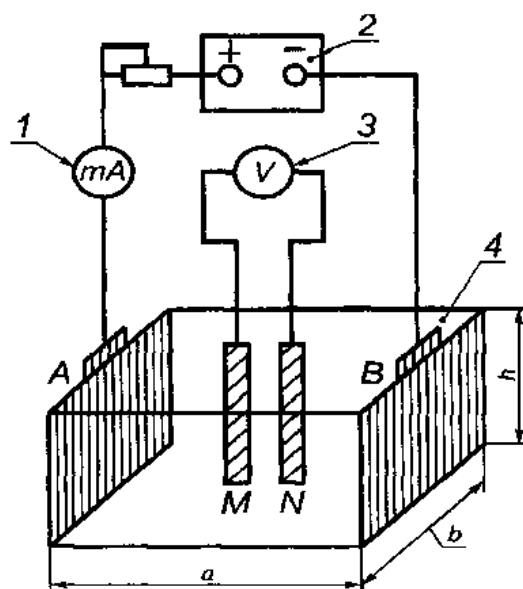


Рис. 1. Схема определения удельного электрического сопротивления грунта в ячейке [1]

Другой подход связан с определением удельного электрического сопротивления на образцах без нарушения структуры в изолированной среде. Он основан на применении четырехэлектродной микроустановки, размещаемой на поверхности монолитов через защитное покрытие [4]. Это позволяет оптимизировать трудозатраты по подготовке измерений и использовать грунт для дальнейших исследований (рис. 2).

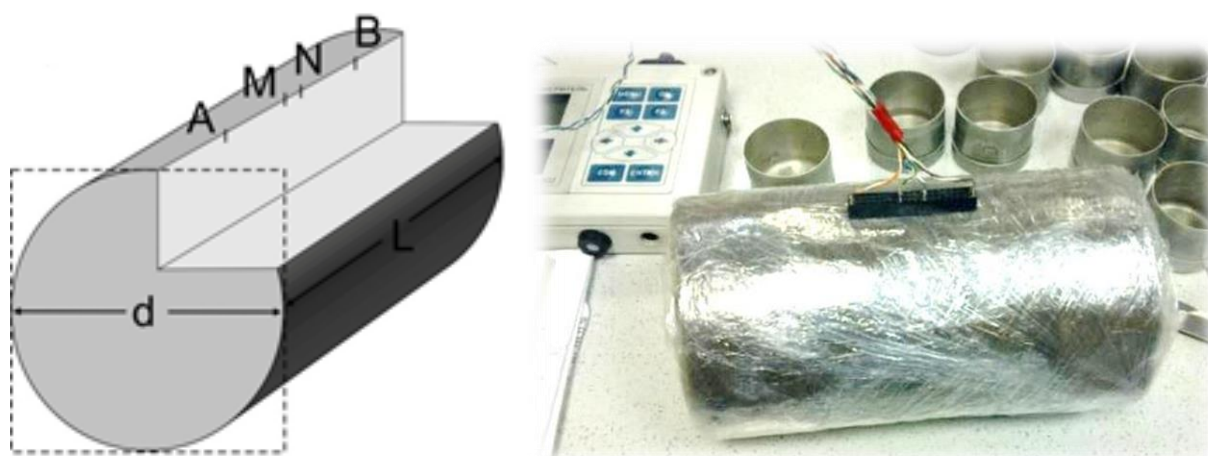


Рис. 2. Схема и пример измерений четырехэлектродной микроустановкой

Как уже сообщалось ранее, на результаты определения УЭС оказывают влияние геометрические размеры образца, которые учитываются с помощью номограммы [4] или выбором, в соответствии с ней, параметров микрозонда, исключающего завышение значений измеряемых величин. Также следует заметить, что вычисленные УЭС могут зависеть от местоположения микрозонда ввиду наличия анизотропии или сложного литологического состава отложений. Для изучения влияния данного фактора выполнены двухточечные измерения в области их наименьшего искажения из-за геометрии образцов, по схеме, приведённой на рисунке 3.



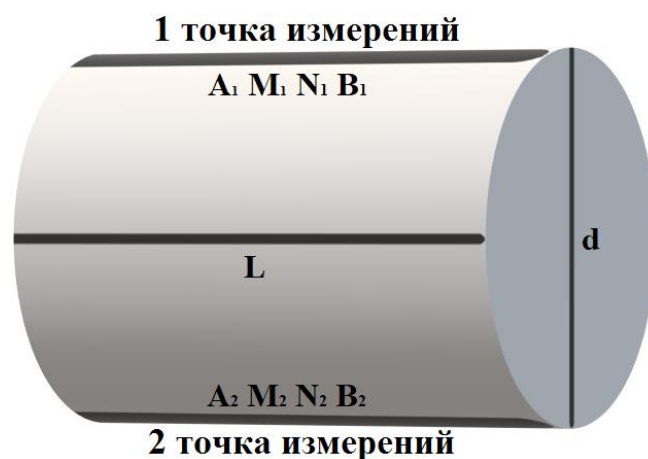


Рис. 3. Схема двухточечных измерений

По результатам полученных данных построены графики для серии из экспериментов, на которых отмечается расхождение УЭС более чем на 20% в зависимости от расположения точки измерений (рис. 4). Учитывая известные корреляционные связи, данное отклонение может существенно влиять на достоверность интерпретации геолого-геофизической информации или определение коррозионных свойств грунтов.

К вышесказанному следует добавить о зависимости удельного электрического сопротивления от температуры [2], вследствие которой мы получаем также расхождение между определяемыми величинами УЭС в полевых и лабораторных условиях. Данный факт не учитывается ни в одной из рассматриваемых методик и требует дополнительного рассмотрения.

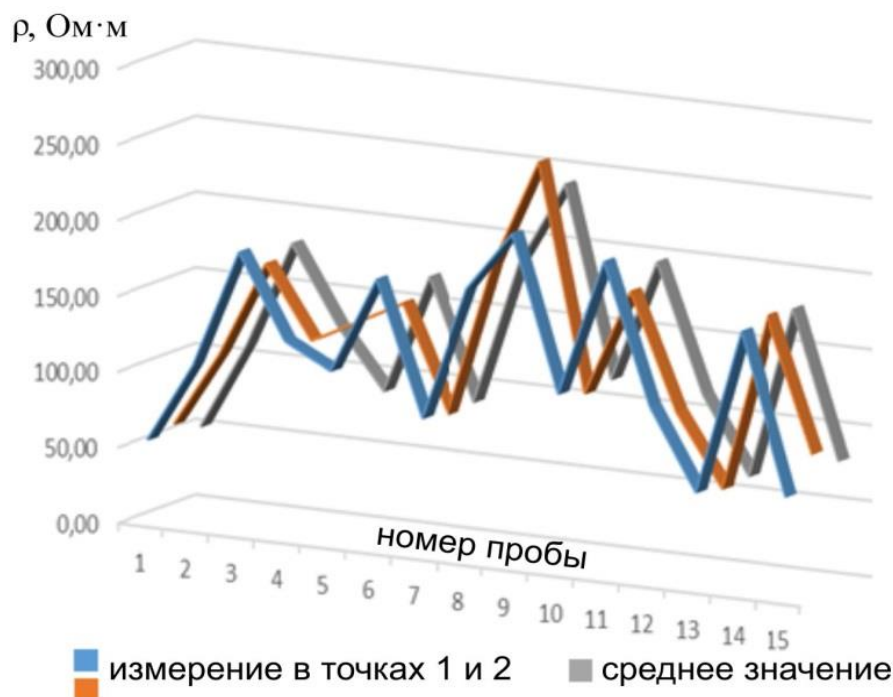


Рис. 4. Графики изменения удельного электрического сопротивления группы дисперсных грунтов из 15 образцов

Таким образом, на основании полученных данных выявлено, что при определении электрических свойств грунтов необходимо учитывать факторы связанные как с неоднородностью литологического состава, так и с разностью температур между естественными и лабораторными условиями. Следует заметить, что многоточечный подход к измерениям даёт перспективную возможность изучения неоднородности образов горных пород, в качестве одного из интерпретационных критериев, а также оценки анизотропных свойств геологического разреза.

#### **Библиографический список**

1. *ГОСТ 9.602-2016* Единая система защиты от коррозии и старения. Сооружения подземные. Общие требования к защите от коррозии. Москва. Стандартинформ 2007.
2. *Зыков Ю.Д.* Геофизические методы исследования криолитозоны: Учебник. М.: МГУ, 2007.
3. *Королев В.А., Трофимов В.Т.* Инженерная геология: история, методология и номологические основы. М.: КДУ, 2016. 292 с.
4. *Татаркин А.В., Гилева М.И., Филимончиков А.А.* К вопросу определения удельного электрического сопротивления дисперсных грунтов в лабораторных условиях // Вестник Пермского университета. Геология, 2014. Вып. 1. С. 44–48.

## БРОМ И ЙОД В НЕФТЕГАЗОВОДОНОСНЫХ КОМПЛЕКСАХ СРЕДНЕГО ПРИУРАЛЬЯ

В данной работе, можно узнать об аномальных содержаниях йода и брома в пластовых водах нефтеносных комплексов в перспективных тектонических регионах. Так же в ней показано оценка содержания йода и брома в регионах где содержания полезных ископаемых выше кондиционных значений. Использование представленных в работе данных по содержанию йода и брома может быть рекомендовано как индикатор качества гидрогеохимического опробования нефтегазоводоносных интервалов разреза, а также при генетической оценке условий формирования залежей углеводородов.

**Ключевые слова:** йод, бром, нефтегазоводоносные комплексы, Приуралье, промышленные воды.

**Yakovlev Yu. A., M. S. Cherniy**  
Perm State University, yyakovlev@yandex.ru  
Perm State University, cherniy@antikarst.ru

## BROMINE AND IODINE IN THE OIL-AND-GAS-BEARING COMPLEXES OF THE MIDDLE URALS

In this paper, you can learn about the abnormal contents of iodine and bromine in the reservoir waters of oil-bearing complexes in promising tectonic regions. It also shows an assessment of the content of iodine and bromine in regions where the mineral content is higher than the standard values. The use of the data presented in the work on the content of iodine and bromine can be recommended as an indicator of the quality of hydrogeochemical testing of oil and gas bearing intervals of the section, as well as for the genetic assessment of the conditions for the formation of hydrocarbon deposits.

**Keywords:** Iodine, bromine, oil and gas-bearing complexes, the Urals, industrial waters.

Изучению микрокомпонентного состава пластовых рассолов нефтегазоносных комплексов (НГК) Среднего Приуралья посвящены работы И.Н.Шестова, А.В.Шурубора, С.И.Егорова, Г.К.Михайлова и других исследователей [4,5,8,9,10,11]. Как правило, наибольшее внимание авторов уделялось содержаниям массово определяемых компонентов – йода и брома. Интерес к указанным микрокомпонентам предопределяется как к индикаторам условий формирования пластовых вод и показателей нефтегазоносности [6,7,12,13], так и их безусловной ценностью в качестве основных компонентов гидроминерального сырья.

Повышенные содержания брома и йода в пластовых водах нефтеносных комплексов в перспективных тектонических регионах характеризует таблица.

Региональная оценка содержаний йода показала следующее: наибольшие концентрации установлены в верхнедевонско-турнейском НГК в Соликамской депрессии (северо-восточная часть), где его содержание достигает 144 мг/дм<sup>3</sup> и в верхнедевонско-нижнепермских отложениях на Косьвинско-Чусовской седловине – до 46 мг/дм<sup>3</sup>. Кондиционные содержания компонента (>18 мг/дм<sup>3</sup>) установлены также в Верхнекамской впадине (верхневизейско-башкирские

отложения), на Бымско-Кунгурской моноклинали (верхневизейско-башкирские и московские отложения), в Соликамской депрессии (нижне-средневизейские и в верхневизейско-башкирские отложения) и др. районах (табл. 1).

Таблица 1. Повышенные содержания йода и брома в подземных водах нефтегазоводоносных комплексов

Тектонический регион	Нефтеносный комплекс	Кол-во исслед. Проб воды	Минерализация вод, г/дм <sup>3</sup>	Содержание	
				Бром, г/дм <sup>3</sup>	Йод, г/дм <sup>3</sup>
Верхнекамская впадина	C <sub>2</sub> B-C <sub>1</sub> V <sub>3</sub>	29	220-270	570-760	12-19
	C <sub>1</sub> <sup>t</sup> -D <sub>3</sub>	21	225-270	500-600	10-15
Пермский свод	C <sub>2</sub> m	22	230-270	700-950	13-17
	C <sub>2</sub> B-C <sub>1</sub> V <sub>3</sub>	58	230-270	550-800	10-18
	C <sub>1</sub> V <sub>1-2</sub>	73	250-270	600-750	9-13
	C <sub>1</sub> <sup>t</sup> -D <sub>3</sub>	43	225-280	600-750	10-15
	D <sub>2</sub> -D <sub>3</sub>	26	240-270	660-1120	10-12
Бымско-Кунгурская впадина	C <sub>2</sub> m	21	200-265	300-1300	11-27
	C <sub>2</sub> B-C <sub>1</sub> V <sub>3</sub>	58	220-270	360-820	9-20
	C <sub>1</sub> V <sub>1-2</sub>	117	230-270	600-1000	9-15
	C <sub>1</sub> <sup>t</sup> -D <sub>3</sub>	73	250-300	800-900	10-15
	D <sub>2</sub> -D <sub>3</sub>	32	230-290	870-1480	10-15
Башкирский свод	C <sub>1</sub> V <sub>1-2</sub>	179	240-275	550-750	10-15
	C <sub>1</sub> <sup>t</sup> -D <sub>3</sub>	64	250-300	700-800	10-20
Соликамская депр.(север)	C <sub>2</sub> B-C <sub>1</sub> V <sub>3</sub>	49	130-260	600-1300	До 30
	C <sub>1</sub> <sup>t</sup> -D <sub>3</sub>	35	80-200	200-800	10-144
Соликамская депр.(цент)	C <sub>1</sub> <sup>t</sup> -D <sub>3</sub>	20	150-200	400-600	10-20
	D <sub>2</sub> -D <sub>3</sub>	16	210-235	470-660	10-20
Соликамская депр.(юг)	P <sub>1</sub> -C <sub>3</sub>	15	215-275	300-830	8-19
	D <sub>2</sub> -D <sub>3</sub>	10	190-270	440-1250	12-25
		23	250-280	600-700	10-20
Косьвинско-Чусовская седл.	P <sub>1</sub> -C <sub>3</sub>	9	190-275	500-1700	7-46
	C <sub>1</sub> V <sub>1-2</sub>	8	240-260	600-1060	10-23
Юрюзано-Сылвенская депрессия	P <sub>1</sub> -C <sub>3</sub>	27	180-280	200-1360	До 20
	C <sub>2</sub> B-C <sub>1</sub> V <sub>3</sub>	22	235-275	540-810	14-19
	C <sub>1</sub> V <sub>1-2</sub>	10	205-275	590-1280	До 11
	C <sub>1</sub> <sup>t</sup> -D <sub>3</sub>	7	200-250	1000-1100	10-20

Пространственное распределение концентраций йода в водах нефтегазоносных комплексов представлено на рис.1. Контрастные аномалии установлены в верхнедевонско-турнейском НГК на северо-востоке Соликамской депрессии, где в рассолах пониженной минерализации и относительно низким содержанием ионов хлора и кальция установлены максимальные для Среднего Приуралья концентрации йода. По представлениям [6,7,12,13] с учетом совокупности гидрогеологических условий наиболее полно образованию таких вод может отвечать конденсационная гипотеза формирования сингенетичных скоплений легких нефтей нефтеново-метанового типа и конденсатогенных вод, сохранившихся в коллекторах рифогенных массивов. Повышенные концентрации йода отмечены в данном районе также в нижне-средневизейском и в верхневизейско-башкирском нефтегазоносных комплексах.

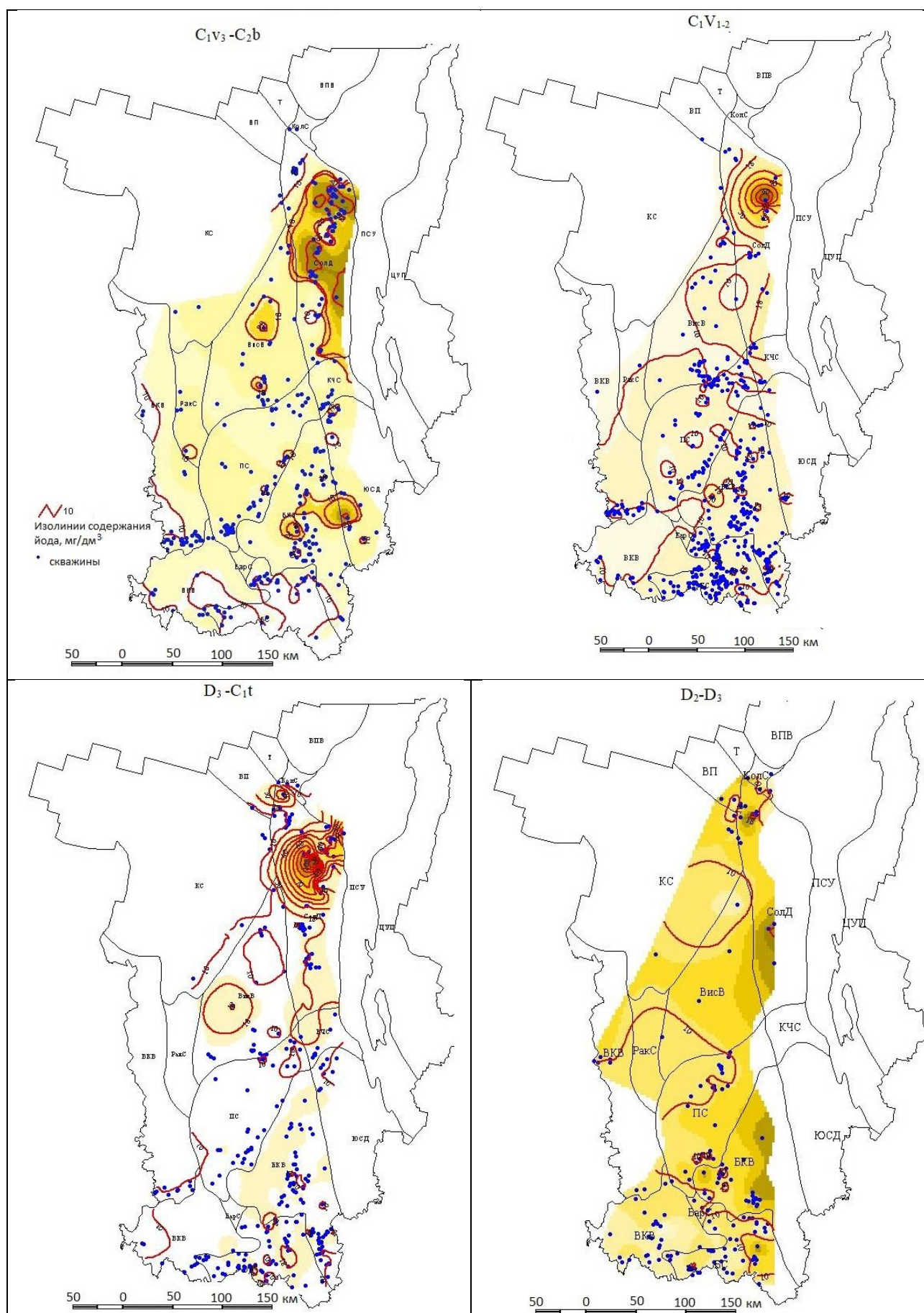
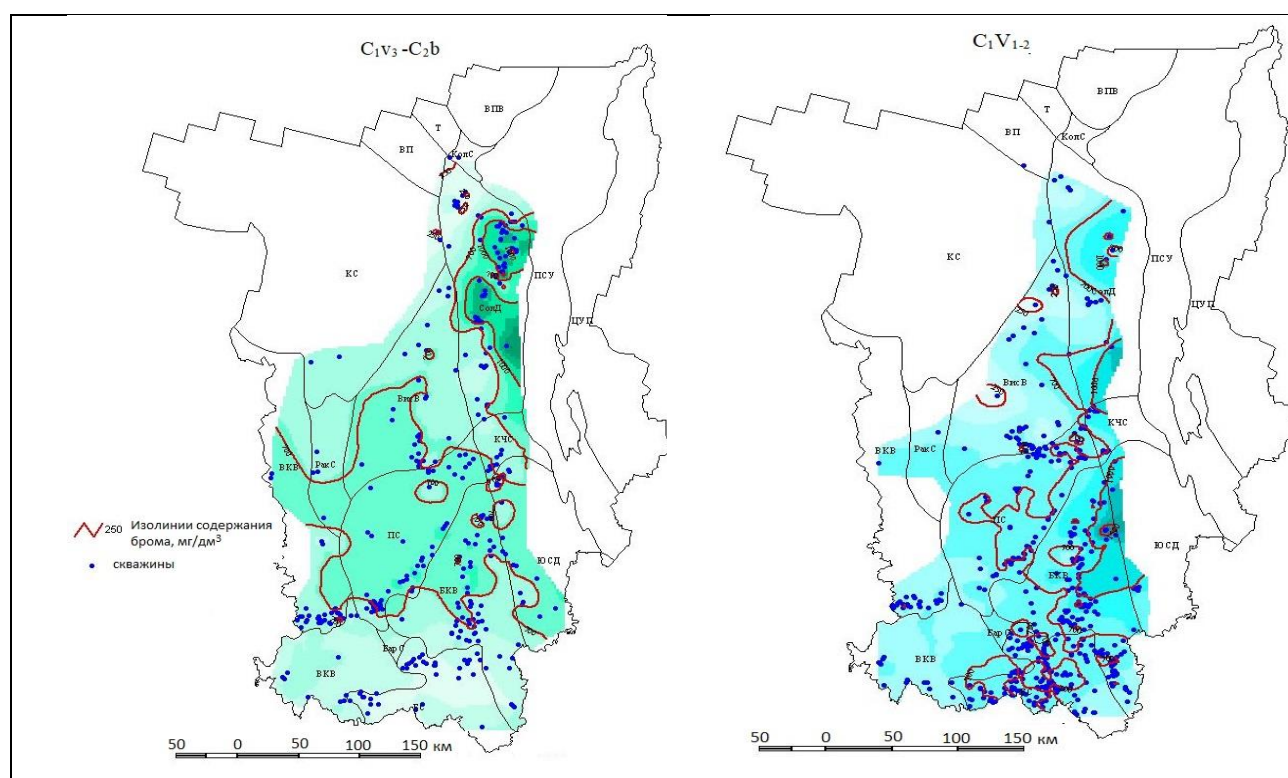


Рис. 1. Распределение йода в нефтегазоносных комплексах



Наиболее высокие содержания брома (табл.) установлены в нижнепермских отложениях в Юрюзано-Сылвенской депрессии, в московском комплексе – на Бымско-Кунгурской моноклинали, в верхнедевонско-турнейском НГК в среднекаменноугольных отложениях – в Соликамской депрессии (северо-восточная часть), в визейском терригенном комплексе в Соликамской (юг) и Юрюзано-Сылвенской депрессиях, на Косьвинско-Чусовской седловине и Бымско-Кунгурской моноклинали, в средне-верхнедевонских терригенных отложениях на Пермском и Башкирском сводах, а также на Бымско-Кунгурской моноклинали. Фоновые кондиционные содержания брома ( $>500$  мг/дм<sup>3</sup>) установлены практически повсеместно (табл.).

Распределение концентраций брома в водах нефтегазоносных комплексов представлено на рисунке 2. Наиболее контрастная зональная аномалия прослеживается в средне-верхнедевонском НГК на территории Верхнекамской впадины, Башкирского свода и Бымско-Кунгурской моноклинали. Здесь в рассолах высокой минерализации, метаморфизации установлены максимальные для Среднего Приуралья концентрации брома, превышающие 1500 мг/дм<sup>3</sup>. Особенностью этих рассолов являются также высокие концентрации кальция и низкая сульфатность. Источником брома в рассолах является, главным образом, органическое вещество, содержащееся в горных породах. По совокупности компонентного состава рассолов они рассматриваются как «реликтовые подземные воды» [12]. Девонские терригенные отложения в пределах ареала «реликтовых» вод отличаются весьма низкой латеральной проводимостью и надежно перекрыты тиманским региональным флюидоупором. Такие условия обеспечивают как сохранность реликтовых вод, так и благоприятные гидрогеологические условия сохранности нефти в южных районах Пермского края.





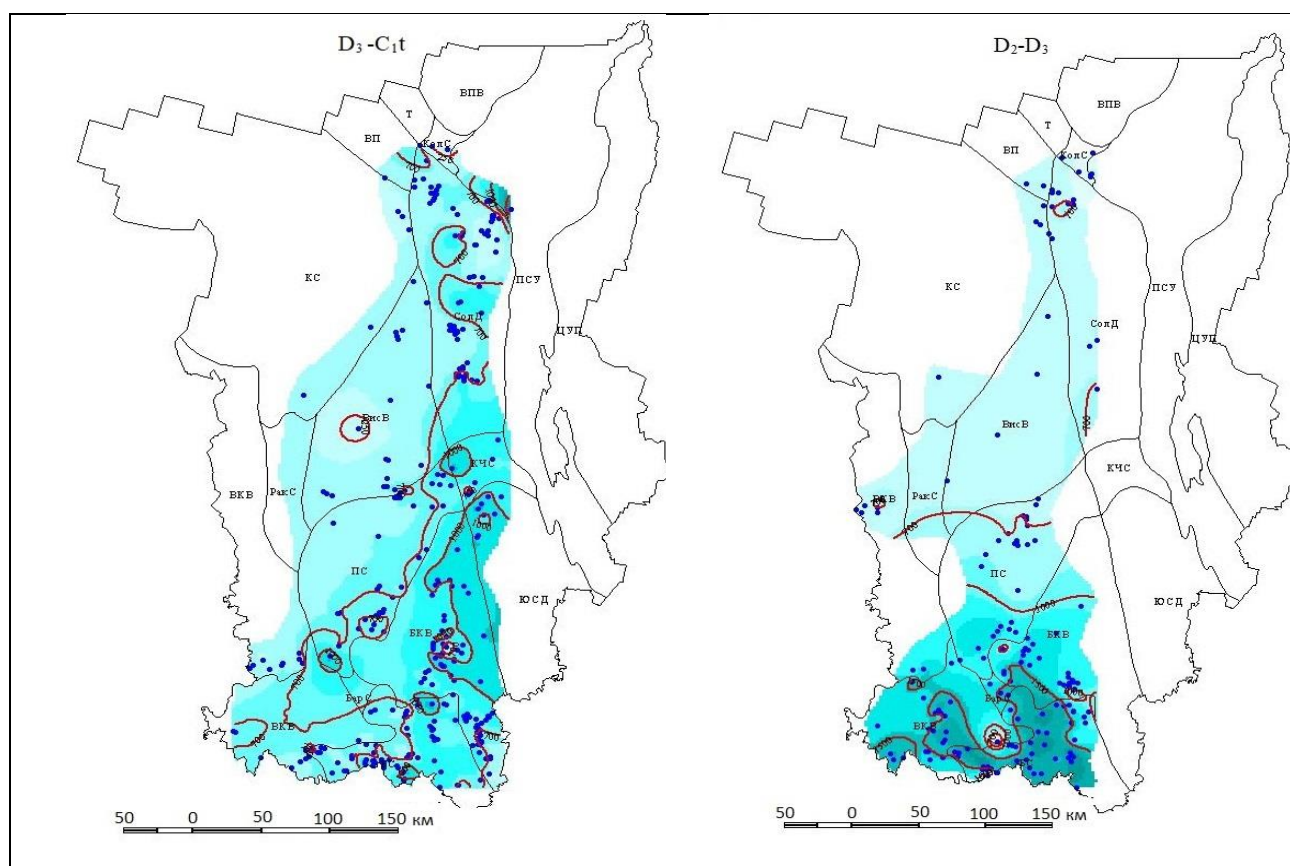


Рис. 2. Распределение брома в нефтегазоносных комплексах

Настоящая работа, включая представленные карты, не является рекомендацией по выявлению перспективных участков для освоения промышленных вод поскольку высокие содержания йода и брома в подземных водах являются обязательным, но недостаточным условием отнесения таких рассолов к категории промышленных вод [2]. Как отмечает С.С.Бондаренко с соавторами [3], «...зона распространения промышленных вод должна отвечать совокупности гидрогеологических и геолого-экономических условий, обеспечивающих при определенной концентрации полезных компонентов их рентабельное извлечение из подземных вод...». Поэтому при выборе перспективных участков требуется выполнение комплексных геолого-гидрогеологических работ, включая оценку объемов добычи вод, изучение геофильтрационных характеристик разреза, возможности размещения отработанных рассолов в глубокозалегающих элементах разреза и, конечно, комплекс геолого-экономических характеристик (сырьевой рынок, инфраструктура производства, технологии и др.). Для Пермского края перспективным является восстановление добычи йодобромных рассолов на Краснокамском месторождении промышленных вод [1,5].

Использование представленных в работе данных по содержанию йода и брома может быть рекомендовано как индикатор качества гидрогеохимического опробования нефтегазоводоносных интервалов разреза, а также при генетической оценке условий формирования залежей углеводородов.

### Библиографический список

1. Белов С.Ю., Некрасов П.В. Состояние ресурсной базы Краснокамского месторождения йодобромных рассолов и трудности их освоения // Вестник молод. учен. ПГНИУ. Сборник научных трудов, вып.6. Пермский гос. Нац. Ун-т. Пермь, 2016. С.41-47.
2. Бондаренко С.С., Куликов Г.В., Лубенский Л.А. Промышленные подземные воды. Издание: Недра, Москва, 1988 г., 128 стр.
3. Бондаренко С.С., Лубенский Л.А., Куликов Г.В. Геолого-экономическая оценка месторождений подземных промышленных вод. ... М.: Недра, 1988. 203 с.
4. Михайлов Г.К., Яковлев Ю.А. Подземные воды нефтеносных комплексов Пермского Прикамья как гидроминеральное сырье для добычи брома и йода. Тр. науч. конф.: «Геология и минеральные ресурсы Западного Урала». Перм: ПГУ, 1993. С. 49-50.
5. Егоров С.И., Шестов И.Н., Шувалов В.М. Питательные лечебные, лечебно-столовые, бальнеологические и промышленные подземные воды Предуралья // Вестник Пермского университета. Сер. Геология. 2007. Вып. 4(9). С. 135–147.
6. Попов В.Г., Чернова Т.И., Яковлев Ю.А. Конденсатогенные воды месторождений углеводородов Соликамской депрессии. Мат. V междунар. конф. «Новые идеи в науках о Земле». Тез. ждок. М., 2001.С. 276.
7. Попов В.Г., Яковлев Ю.А. Особенности гидрогеохимической зональности Соликамской депрессии. В сб.: Геология и полезные ископаемые Западного Урала. Мат. рег. науч.-практ. конф. Пермь: Перм. ун-т, 2000. С. 229-230.
8. Шестов И.Н., Шардаков А.В., Шилияев Ю.А. Бром-йодные воды трещинно-карстовых коллекторов окско-башкирского водонефтегазоносного комплекса Прикамья. В сб. Гидрогеология и карстование, вып. 6, Пермь, 1975, с. 81-83.
9. Шестов И.Н., Шурубор А.В. Йод и бром в подземных водах Прикамья. В сб.: Научн. Трудов УНЦ АН СССР, Свердловск, 1986, с.64-72.
10. Шестов И.Н., Шурубор А.В., Шувалов В.М. Трещинно-карстовые йодо-бромные воды и рассолы Пермской области. В сб. тезис. докладов: Геология и минеральные ресурсы Западного Урала. Пермь, 1993, с.53.
11. Шурубор А.В., Шестов И.Н. Промышленные подземные воды Пермского Предуралья. Сб.: Геология и полезные ископаемые Западного Урала. Пермь, 1997. С. 206-208.
12. Яковлев Ю.А. Гидрогеохимические кластеры продуктивных комплексов северо-восточной части Волго-Уральской нефтегазоносной провинции. Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений, №7, 2014 г. С.60-64.
13. Яковлев Ю.А. Гидрогеохимические особенности газонефтеводоносных комплексов Соликамской депрессии. // Известия вузов. Нефть и газ. 2004, №5 с.101-105

## **ГЕОМОРФОЛОГИЯ И ГЕОЛОГИЯ ЧЕТВЕРТИЧНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ ГОРОДА ПЕРМИ**

Рассмотрены геоморфологические условия и отложения четвертичного периода в центральной части города Перми. Ведущими факторами рельефообразования являются тектонические (неотектонические) движения, эрозионно-денудационные, эрозионно-аккумулятивные процессы и литологический состав пород. Составлены современные карты масштаба 1:50 000 – геоморфологическая и геологическая четвертичных образований.

**Ключевые слова:** геология, геоморфология, четвертичные образования, Урал, г. Пермь.

**I.S. Kopylov**  
Perm State University, georif@yandex.ru

## **GEOMORPHOLOGY AND GEOLOGY OF QUATERNARY FORMATIONS IN THE CENTRAL PART OF THE CITY OF PERM**

The geomorphological conditions and deposits of the Quaternary period in the central part of the city of Perm are considered. The leading factors of relief formation are tectonic (neotectonic) movements, erosion-denudation, erosion-accumulation processes and lithological composition of rocks. Compiled modern maps at a scale of 1:50,000 – geomorphological and geological Quaternary formations.

**Key words:** geology, geomorphology, Quaternary formations, Ural, Perm city.

### **Введение**

Геологическая среда городов представляет собой сложную ландшафтно-геодинамическую природно-техногенную систему, где все компоненты связаны между собой самым тесным образом. Исключение любого из них нарушает целостность структуры системы и приводит к серьезным экологическим и экономическим последствиям [6]. Геологические и геоморфологические условия (наряду с геодинамикой) являются центральными подсистемами изучения городской геологической среды.

Связь геоморфологии с геологией четвертичного периода определяется, тем, что формирование рельефа обусловлено динамикой ведущего тектонического (неотектонического) процесса, который приводит к деформации более древнего геологического субстрата, денудации его или к накоплению на нем более молодых неоген-четвертичных отложений, в процессе чего и формируется рельеф.

Данная статья продолжает изучение геологической среды территории г. Перми [5, 7, 8]. Цель статьи: краткая характеристика геоморфологических условий и четвертичных образований в центральной части города для

обоснования рационального природопользования, безопасного строительства, проектирования ООПТ и других объектов.

Вопросам геоморфологии и четвертичной геологии территории Приуралья и рассматриваемой территории посвящено множество работ, преимущественно во второй половине XX в. (В.А. Варсанюфьева, 1932, 1939, 1954, К.К. Марков, 1947, И.П. Герасимов, 1948, Д.В. Борисевич, 1948, 1954, Б.С. Лунев, 1960; А.П. Сигов, 1969, 1981; В.А. Лидер, 1976; Л.А. Шимановский, 1988; И.И. Черткова, 1991, 1992); непосредственно по территории г. Перми работ геолого-геоморфологической направленности крайне мало.

**Методика исследований.** Для составления геоморфологической карты и геологической карты четвертичных образований масштаба 1:50 000 (их описаний и легенд) использованы материалы государственной геологической съемки [2, 3] гидрогеологической съемки, тематических специализированных работ, а также многочисленных инженерно-геологических изысканий [1]. Общие принципы и методика составления карт изложены в инструкции [4].

### **Геоморфологические условия**

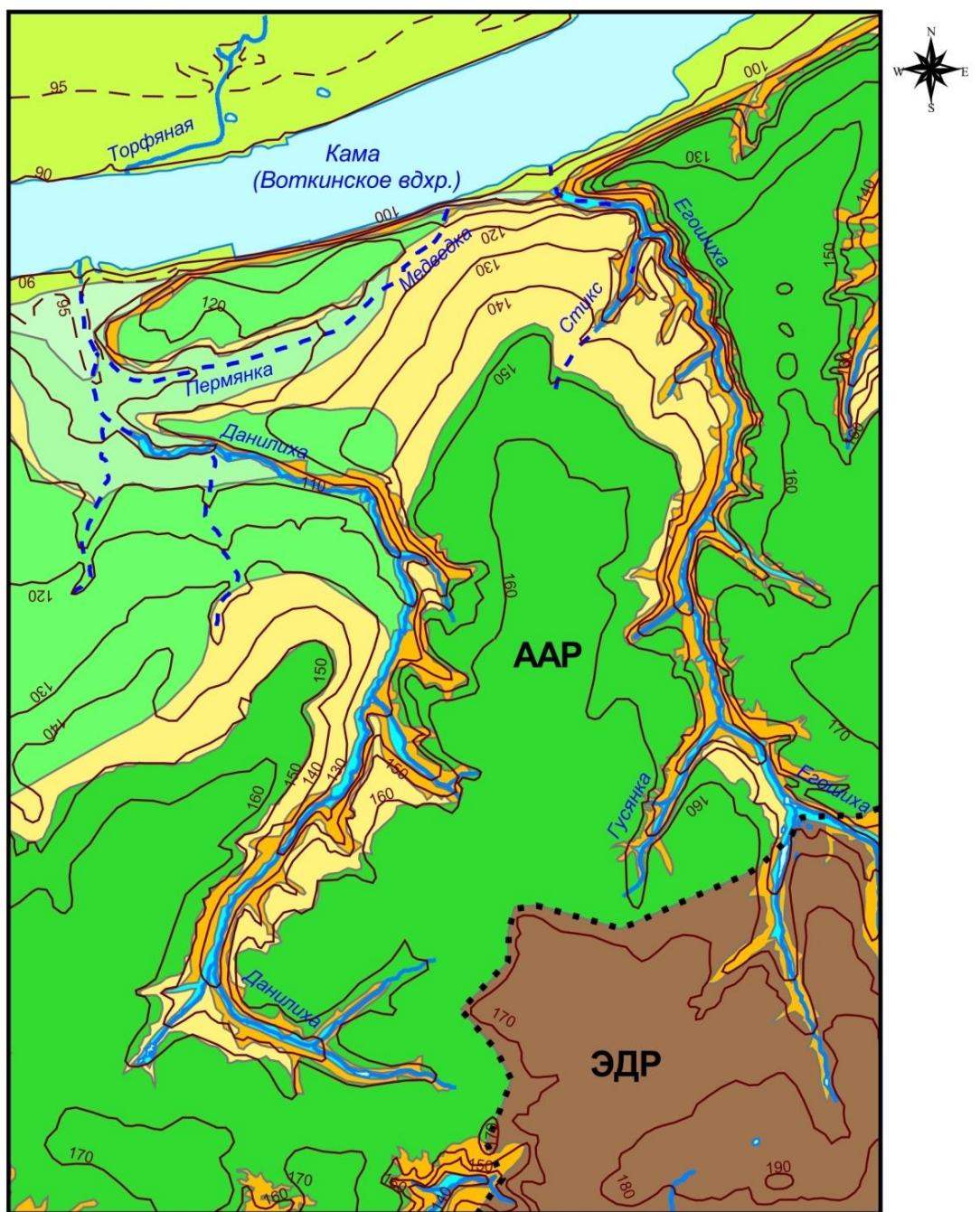
Рассматриваемая территория располагается на восточной окраине Восточно-Европейской (Русской) равнины, в пределах Среднекамской низменной равнины. Рельеф района представляет собой слабохолмистую равнину, расчлененную долинами водотоков и логами. Высотные отметки (в Балтийской системе высот) в районе изменяются от 90 м (урез р. Камы – Воткинского водохранилища в северо-западной части площади) до 190 м (водораздел рр. Данилихи и Егошихи юго-восточной части площади) (рис. 1).

Современный рельеф территории является результатом противоречивого взаимодействия эндогенных и экзогенных процессов. Современная орография сложилась на древней тектонической структуре в результате тектонических и денудационных процессов. Ведущими факторами рельефообразования являются тектонические (неотектонические) движения, эрозионно-денудационные процессы (где главным является речной морфогенез эрозионной и аккумулятивной деятельности р. Камы и ее притоков, а также береговые процессы) и литологический состав пород. Для района в целом характерны сглаженные формы рельефа. По морфологическим критериям рельеф волнистый, холмистый, увалистый, балочный и долинный.

В геоморфологическом и морфоструктурном отношении на Территории располагается два крупных геоморфологических (морфоструктурных) элемента – аллювиальная аккумулятивная равнина (ААР) и эрозионно-денудационная равнина (ЭДР).

**Эрозионно-денудационная или высокая равнина** располагается на абсолютных отметках 170-190 м в юго-восточной части площади, в верховье и на водоразделе р. Егошихи. Возраст ее формирования датируется (по Н.В. Введенской) поздним плиоценом.

Наиболее полное распространение в районе имеет **аллювиальная аккумулятивная равнина** – поверхность врезания современных рек. Закартированы пойма и четыре надпойменных террасы.



УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ  
Геоморфологические (морфоструктурные) элементы

- |  |                                |  |
|--|--------------------------------|--|
| Аллювиальная аккумулятивная равнина (ААР)                  |                                |  |
| долины малых рек   | III надпойменная терраса       | гидросеть<br>горизонтали рельефа, м<br>границы морфоструктур |
| пойма  | IV надпойменная терраса        |  |
| I надпойменная терраса                                     | аллювиально-делювиальный склон |  |
| II надпойменная терраса                                    | делювиальный склон             |  |
| Эрозионно-денудационная равнина (ЭДР)                      |                                |  |
| Водораздельные пространства и их склоны ( высокая равнина) |                                |  |

0.5 0 0.5  
КМ

Рис. 1. Геоморфологическая карта бассейна рек Данилихи и Егошихи

Террасы имеют сложное внутреннее строение, обусловлены влиянием нескольких факторов: региональными и локальными тектоническими движениями, изменением климатических условий (эпохами оледенения и



межледниковья), карстовыми процессами. Ритмичная смена климатических обстановок привела к ярусному строению аллювия террас.

*Высокая пойма.* Отметки поверхности поймы 92-96 м, высота ее над урезом реки – 5-9 м, отметка кровли коренных пород составляет 77-79 м. Поверхность часто заболочена.

*Первая надпойменная терраса* развита в низовье р. Данилихи. Поверхность ее ровная, с отметками 96-100 м и превышением над урезом реки 9-13 м.

*Вторая надпойменная терраса* развита фрагментарно в виде узких выклинивающихся сегментов в низовье р. Данилихи, в долине р. Пермь. Поверхность неровная, всхолмленная поверхностью, с дюнными грядами и бугристыми песками. Ее абсолютные отметки составляют 100-110 м.

*Третья надпойменная терраса* левобережной части г. Перми сохранилась от размыва в междуречье рек Мулянки и Данилихи, а также Данилихи и Егошихи. Поверхность ее, с отметками в пределах 110-125 м, в центральной части города значительно размыва и вскрыта долиной р. Данилихи. Рельеф террасы сравнительно ровный, со средним уклоном к р. Каме 1-20°.

*Четвертая надпойменная терраса* охватывает большую часть междуречий рек Мулянки и Данилихи, Данилихи и Егошихи и Егошихи и Мотовилихи. Поверхность ее сравнительно ровная со средним уклоном к р. Каме 1-30°.

В целом рельеф высокая равнина Территории представляет собой совокупность выровненных поверхностей и склонов, образовавшихся в результате глубинной и боковой эрозии р. Камы, ее притоков и временных водотоков. По доминирующим склоноформирующим процессам можно выделить эрозионные и делювиальные склоны.

*К эрозионным (аллювиально-делювиальным) склонам* р. Камы и ее притоков можно отнести крутые (более 35°), реже более пологие (5-15°) склоны. Поверхность склонов часто изрезана бороздами, оврагами и промоинами, покрыта делювиальными отложениями незначительной мощности (0,1-3 м), с обнажающимися местами коренными породами. В подошвенной части из-за присутствия делювиально-коллювиальных отложений мощность увеличивается до 3-5 м.

*К делювиальным склонам* можно отнести пологие (от 1 до 15°), склоны, покрытые чехлом аллювиально-делювиальных и полигенетических отложений мощностью 3-5 м в верхней и 18-22 м в нижней части склонов.

Эрозионные и делювиальные склоны характерны для отложений третьей и четвертой надпойменных террас р. Камы и высокой равнины.

Территорию прорезают две долины рек – Данилихи и Егошихи, левых притоков р. Камы, протекающих в северном направлении. Обе долины ассиметричные, с более крутыми правыми бортами. Глубина эрозионного вреза достигает 30 м. Русла слабоизвилистые, шириной 1-5 м. Борта речных долин (особенно правых) интенсивно подрабатываются, часто наблюдается рост оврагов.

### **Геологические условия четвертичных образований**

Отложения четвертичного возраста на рассматриваемой территории покрывают коренные породы шешминской свиты практически сплошным чехлом 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. Описание приводится в соответствии с геологической картой четвертичных образований, выполненной по материалам государственной геологической съемки масштаба 1:200 000 (рис. 2).

**Полигенетические четвертичные образования** (средне-верхнечетвертичные, рgIII) образовались в результате делювиальных, аллювиальных, эоловых, ледниковых процессов. Они широко распространены в восточной и южной части площади и обычно покрывают склоны долин, междуречные пространства и поверхности III и IV надпойменных террас. Они представлены алевритистыми и песчанистыми красно-буро-коричневыми очень плотными глинами и лессовидными суглинками с характерной столбчатой отдельностью; мощность отложения 2-5 (до 12) м. Суглинки представлены легкими и средними, реже тяжелыми пылеватыми, хорошо отсортированными разностями, часто макропористыми, нередко известковистыми, изредка просадочными; консистенция обычно полутвердая, реже тугопластичная и твердая. К полигенетическим отложениям приурочены промышленные месторождения кирпичных глин.

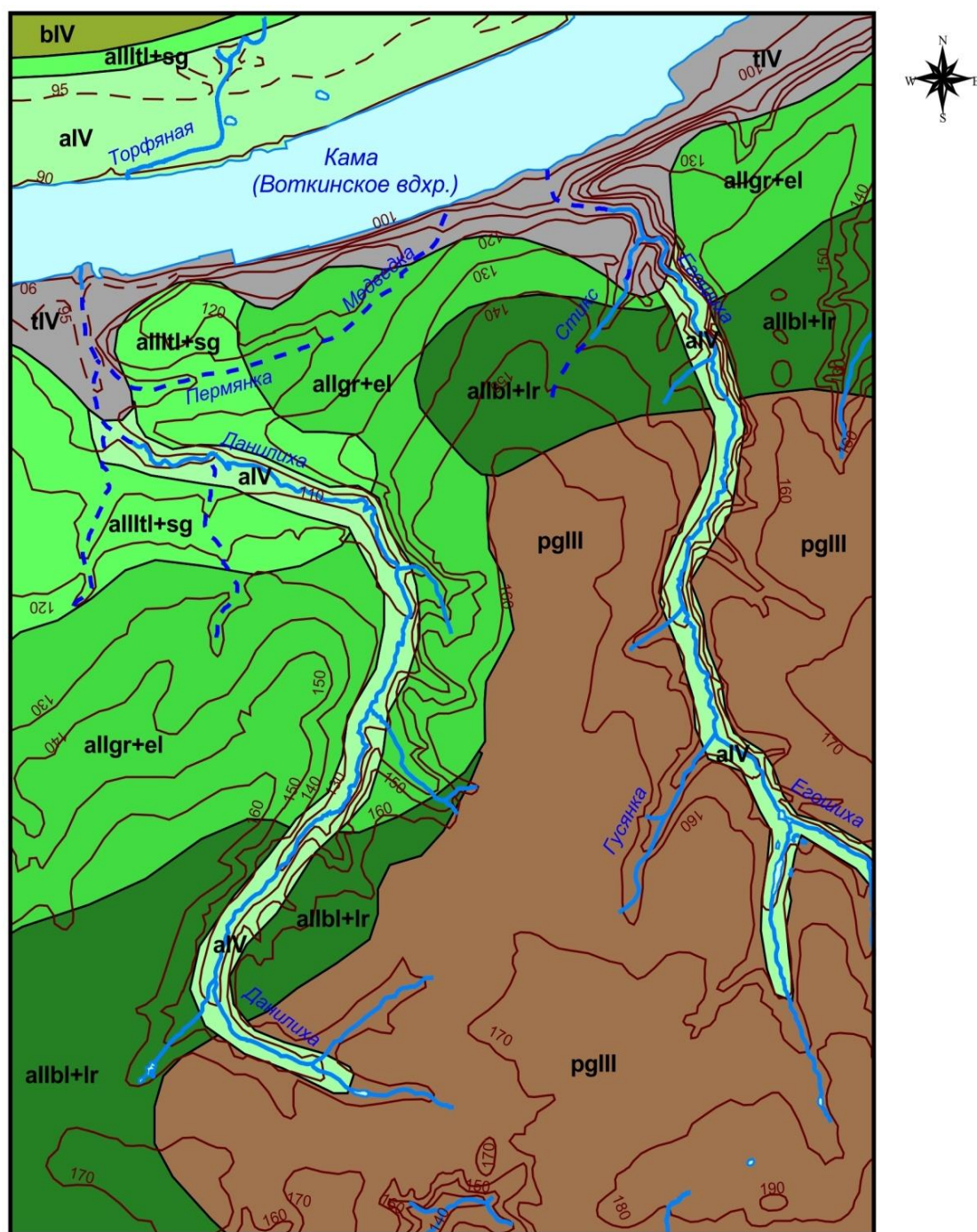
**Аллювиальные четвертичные образования** (средне-верхнечетвертичные и современные образования) широко распространены в долинах р. Камы и ее притоков Данилихи и Егошихи – в северной, западной и северо-восточной частях площади.

**Аллювиальные отложения IV надпойменной террасы** (среднечетвертичное звено, бельский и ларевский горизонты, aIIIbl+lr) распространены двумя широтными сегментами в верховье р. Данилихи и низовье р. Егошихи. Представлены песками разнотернистыми, супесями, глинами, гравием, галечником.

**Аллювиальные отложения III надпойменной террасы** (среднечетвертичное звено, горновский и еловский горизонты, aIIgr+el) распространены широко в средней части р. Данилихи и низовье р. Егошихи и в междуречьях. Представлены песками разнотернистыми, супесями, глинами, гравием, галечником.

**Аллювиальные отложения II надпойменной террасы** (верхнечетвертичное звено, талицкий и сайгатский горизонты, aIIltl+sg) выделены в нижнем течении р. Данилихи. Представлены песками разнотернистыми, суглинками, глинами, гравием, галечником.

**Аллювиальные отложения I надпойменной террасы, пойм, русел рек** (современное звено, голоцен, aIV), прослеживаются широкой полосой на правобережье р. Камы и на всем протяжении долин рек Данилихи и Егошихи. Представлены песками разнотернистыми, супесями, иловатыми гравием, галечником. Характерной особенностью их является накопление растительного материала и гумуса, часто наблюдаются линзы неразложившегося торфа.



#### УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

##### Комплексы четвертичных образований

tIV	Техногенные образования
bIV	Болотные отложения. Торф, гумусированные глины, илы, торфотуфы
aIV	Аллювиальные отложения. Пески разноразмерные, супеси, иловатые суглинки, гравий, галечник
alltl+sg	Аллювиальные отложения II надпойменной террасы. Пески разноразмерные, супеси, суглинки, глины, гравий, галечник

pgIII	Полигональные отложения. Лессовидные суглинки, супеси с тонкими прослоями песков, глины плотные, алевритистые
allgr+el	Аллювиальные отложения III надпойменной террасы. Пески разноразмерные, супеси, глины, гравий, галечник
allbl+lr	Аллювиальные отложения IV надпойменной террасы. Пески, суглинки, глины, гравий, галечник
120	гидросеть      горизонтали рельефа, м

0.5 0 0.5  
KM KM

Рис. 2. Геологическая карта четвертичных образований бассейна рек Данилихи и Егошихи

**Техногенные образования** (современное звено, голоцен, tIV) представляет собой особый вид грунтов. Это могут быть строительные насыпные грунты, представленные суглинками, супесями, дресвой, иногда с техногенным крупнообломочным материалом в пределах городских и промышленных агломераций и промышленные грунты – отходы наземной и подземной разработки месторождений полезных ископаемых (дражные отвалы, золоотвалы, насыпи, терриконы и т.д.). Мощность различная, от 0,5-2 до 15 и более метров. На рассматриваемой территории техногенные грунты прослеживаются полосой 0,5-1 км вдоль левобережья р. Камы (насыпные и намывные грунты) и могут встречаться локально, как насыпные по всей рассматриваемой территории.

Кроме описанных выше комплексов четвертичных отложений, отображенных на геологической карте четвертичных образований, на рассматриваемой территории локально распространены (и на карте не отображаются) и другие виды четвертичных отложений, среди которых наиболее часто встречаются аллювиально-делювиальные и элювиально-делювиальные отложения. Ниже приводится типовое описание геологического разреза по материалам бурения инженерно-геологических скважин глубиной до 30 м, в центрально-северо-восточной части рассматриваемой территории (верховье р. Стикса), сверху вниз (на картах отображен аллювиально-делювиальный склон IV надпойменной террасы р. Камы, абс.отм.133-138 м):

1). *Техногенные отложения (tIV)*. Насыпной грунт, представлен суглинком тугопластичным с примесью строительного мусора от 20% до 70% (битый кирпич, обломки бетона, проволока, ПГС). Грунт отсыпан сухим способом, слежавшийся давность отсыпки более 10 лет. Общая мощность насыпного грунта составляет 1,3-3,8 м.

2). *Аллювиально-делювиальные отложения (adIV)*. Суглинок коричневый, лёгкий и тяжёлый, пылеватый и песчанистый, от текучей до тугопластичной, консистенции, с линзами и прослойками песка мелкого, насыщенного водой, к подошве слоя с включениями гравия до 15%, участками с примесью органических веществ. Мощность слоя до 15,5 м.

3). *Аллювиально-делювиальные отложения (adIV)*. Гравийный грунт (от 55 до 70% гравия, кварцево-кремнистого состава) с суглинистым и супесчаным заполнителем до 30-45%, насыщенный водой. Мощность 1,2-2,5 м.

4). *Элювиально-делювиальные отложения (edIV)*. Суглинок темно-коричневый, тяжелый, пылеватый и песчанистый, щебенистый (до 35% щебня аргиллита), твердой и полутвердой консистенции, с гнездами и прослойками выветрелого песчаника и аргиллита мощностью 4,0-5,2 м.

## **Заключение**

Проведенные исследования являются частью выполненных работ [1]. Создана информационно-картографическая база данных по геологии Перми. В дальнейшем предполагается дополнить ее картами и информацией по инженерной геологии, гидрогеологии и геоэкологии. Необходим системный анализ и картографирование всей геологической информации по городской ландшафтно-геодинамической природно-техногенной системе с

использованием нейронных сетей. В этой связи необходима разработка и осуществление специальной городской бюджетной программы.

### **Библиографический список**

1. *Геологические условия* территории города Перми в долинах рек Егошиха, Данилиха / И.С. Копылов. Отчет о НИР. 45 с. В сводном отчете: «Проведение комплексного экологического обследования территорий с подготовкой эколого-экономического обоснования создания особо охраняемых природных территорий в долинах рек Егошиха, Данилиха на территории города Перми». С.А. Бузмаков и др. ПГНИУ, 2021.
2. *Государственная геологическая карта* (карта четвертичных отложений). Масштаб 1:200 000. Пермская серия. О-40-XXI. (Кунгур) / И.И. Чертова. Ред. В.П. Горский. ВСЕГИНГЕО, Л., 1991.
3. *Государственная геологическая карта* (карта четвертичных отложений). Масштаб 1:200 000. Пермская серия. О-40-XV (Пермь) / И.И. Чертова. Ред. В.П. Горский. ВСЕГИНГЕО, Л., 1992.
4. *Инструкция* по составлению и подготовке к изданию листов Государственной геологической карты Российской Федерации масштаба 1:200 000 (Роскомнедра). М.: ВСЕГЕИ, 1995, 244 с.
5. *Копылов И.С.* Геология и геодинамика центральной части города Перми // Геология и полезные ископаемые Западного Урала. 2021. № 4 (41). С. 280-287.
6. *Копылов И.С.* Геоэкология, гидрогеология и инженерная геология Пермского края. Пермь, 2021. 501 с.
7. *Васильев А.А., Лобанова Е.С.* Эколого-геохимическая оценка почвенного покрова г. перми: тяжелые металлы и мышьяк // Пермский аграрный вестник. 2015. № 1 (9). С. 34-49.
8. *Тюрина И.М., Патрушев Н.В.* Ретроспективный анализ кислотно-щелочных условий грунтовых вод города Перми // Вестник Пермского университета. Геология. 2018. Т. 17. № 2. С. 112-119.

## АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ

- Агафонова М.М. 73  
Арсанукаев З.З. 184  
Артёмов А.Л. 94  
Беленко Я.А. 209  
Беляева Г.Л. 117  
Болотов Г.Б. 110  
Гекче М.И. 42  
Голдырев В.В. 3, 7  
Голдырев В.Н. 73, 100  
Горожанцев А.В. 173  
Грибков Д.С. 15  
Губанов Н.В. 73  
Долгаль А.С. 189  
Дробинина Е.В. 226, 257  
Жильцова В.Ю. 251  
Зобачев А.В. 7, 100  
Золотарев Д.Р. 226  
Зубриков А.А. 196  
Ибламинов Р.Г. 21  
Калина К.Н. 54, 100  
Капитанова А.С. 117  
Караваева Т.И. 265  
Карасева Т.В. 127  
Карпов С.Б. 202  
Катаев В.Н. 226  
Кишин Ю.А. 232  
Ковалёва Т.Г. 251  
Ковин О.Н. 7  
Коврижных С.Б. 62  
Колесников В.П. 202  
Копылов И.С. 282  
Кочнева О.Е. 157  
Красильников П.А. 240  
Кузин А. В. 209  
Кузнецова Е.А. 166  
Куршев М.С. 42  
Лаломов А.В. 27  
Ласкина Т.А. 202  
Лобанов Е.Ю. 209  
Мазухина А.А. 209  
Минькевич И.И. 232  
Михневский А.М. 50  
Наборщикова О.В. 163  
Наумов В.А. 69, 73, 100  
Наумова О.Б. 69  
Огородова И.В. 179  
Ожгибесов В.П. 148, 154  
Осовецкий Б.М. 54  
Падерин А.А. 83, 132  
Пактовский Ю.Г. 34, 73  
Петунина Т.А. 90  
Петухов С.Н. 54  
Плюснин А.В. 42, 50  
Плюснина К.И. 3, 7  
Пономарев Р.С. 7  
Попов А.Г. 11, 62  
Порфирьева А. Н. 140  
Потапов Д.В. 157  
Пушин К.А. 100  
Пыжьянов Ю.Б. 215  
Пьянков С.В. 3  
Рудаковская Е.Г. 184  
Селина З.В. 251  
Степанов Ю.И. 173  
Сунцев А.С. 15  
Тайницкий А.А. 173  
Татаркин А.В. 272  
Тихонов В.П. 265  
Томилина Е.М. 90  
Фаисханов Д.Р. 232  
Чегодаева Д.А. 83  
Черный М.С. 276  
Шатов В.А. 140  
Шиканов Д.В. 272  
Шишкина А.С. 240  
Щербаков С.В. 226  
Яковлев А.Ю. 140  
Яковлев Ю.А. 276

## Содержание

1. Общие вопросы .....	3
2. Минералогия литология полезные ископаемые.....	11
3. Геология нефти и газа.....	110
4. Геофизика, геофизические методы.....	173
5. Гидрогеология и карст.....	226
6. Инженерная геология и геоэкология.....	257
Авторский указатель.....	290



*Научное издание*

# **Геология и полезные ископаемые Западного Урала**

Сборник научных статей  
Выпуск 5(42)

Под общей редакцией *П. А. Красильникова*

Выпускается в авторской редакции  
Техническая подготовка материала: *П. А. Красильников*

---

Объем данных 23,5 Мб  
Подписано к использованию 10.10.2022

---

Размещено в открытом доступе  
на сайте [www.psu.ru](http://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