

№ 3-4 (100) август 2023

НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЕ

ВЕК

МИРОВЫЕ РЫНКИ И СТАНДАРТЫ ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ И НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЯ

ТВЕРДЫЕ ПОЛЕЗНЫЕ ИСКОПАЕМЫЕ
УГЛЕВОДОРОДНОЕ СЫРЬЕ
ПОДЗЕМНЫЕ ВОДЫ



Для получения доступа ко всем
выпускам журнала сканируйте QR-код
или перейдите по ссылке
nedra21.ru



НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЕ

XXI ВЕК

Научно-технический журнал

Nedropolzovanie XXI vek

Межотраслевой
научно-технический журнал

12+

№ 3-4 август 2023

Издается с ноября 2006

УЧРЕДИТЕЛЬ И ИЗДАТЕЛЬ

Ассоциация организаций в области недропользования
«Национальная ассоциация по экспертизе недр»

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

Д.Б. Бурдин, главный геолог ФБУ «ГКЗ», заместитель председателя ЦКР-ТПИ Роснедра, канд. экон. наук

ПАРТНЕР ЖУРНАЛА

Ассоциация по координации деятельности недропользователей
«Научно-технический центр инновационного недропользования», www.tcin.ru

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ ЭКСПЕРТНОГО СОВЕТА

А.А. Гермаханов, заместитель руководителя Федерального агентства по недропользованию

ЭКСПЕРТНЫЙ СОВЕТ:

Н.Н. Андреева, зав. кафедрой РГУ нефти и газа, вице-президент Союза нефтепромышленников РФ, д-р техн. наук, профессор
С.Ю. Глазьев, академик РАН
И.С. Гутман, генеральный директор ИПНЭ, канд. геол.-мин. наук, профессор, академик РАЕН
А.Н. Дмитриевский, академик РАН, д-р геол.-минерал. наук
И.С. Закиров, председатель совета директоров ООО «ПЕТЕК»
Е.И. Петров, руководитель Федерального агентства по недропользованию
О.С. Каспаров, заместитель руководителя Федерального агентства по недропользованию
А.В. Третьяков, директор АООН «НАЭН»
С.Г. Кашуба, председатель НП «Союз золотопромышленников»
А.Э. Конторович, академик РАН, д-р геол.-минерал. наук
М.Ф. Корнилов, генеральный директор ООО «Новая сырьевая компания»
Дэвид МакДональд, вице-президент по запасам British Petroleum, Председатель экспертной группы по ресурсным классификациям (EGRC) при ЕЭК ООН
П.Н. Мельников, генеральный директор ФГБУ «ВНИГНИ», канд. геол.-минерал. наук
С.М. Мионов, депутат ГД, руководитель фракции партии «Справедливая Россия» в ГД
Р.Х. Муслимов, консультант президента республики Татарстан по вопросам разработки нефтяных и нефтегазовых месторождений, д-р геол.-минерал. наук, профессор КФУ, академик АН РТ
Д.Л. Никишин, заместитель директора по правовым вопросам ФГКУ «Росгеоэкспертиза», канд. юрид. наук, заместитель главного редактора
А.В. Пак, заместитель генерального директора ООО «Интернедра Менеджмент» (управляющая компания ЗАО «ОГК Групп» и дочерних обществ)
К.Н. Трубецкой, главный научный сотрудник УРАН ИПКОН РАН, академик РАН
П.П. Повжик, заместитель генерального директора ПО «Беларуснефть», канд. техн. наук

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ:

А.А. Герт, директор ООО «Сибирский НТЦ нефти и газа», д-р экон. наук, профессор
А.И. Черных, генеральный директор ЦНИГРИ, канд. геол.-минерал. наук
В.М. Аленичев, главный научный сотрудник Института горного дела УрО РАН, профессор, д-р техн. наук
Т.В. Башлыкова, директор НВП Центр – ЭСТАgeo
А.А. Романченко, действительный член, заместитель руководителя, научно-технический консультант Академии Горных Наук, генеральный директор ООО «ЕМС-майнинг», канд. техн. наук
Н.А. Еремин, д-р техн. наук, заместитель директора по инновационной работе ИПНГ РАН
В.И. Воропаев, главный геолог ФБУ «ГКЗ»
Н.Д. Вержанская, первый заместитель генерального директора ООО «Сентябрь»
Р.Г. Джамалов, зав. лабораторией Института водных проблем РАН, д-р геол.-мин. наук, академик РАЕН
В.М. Зуев, заместитель начальника аналитического управления ПАО АК «Алроса»
А.Б. Лазарев, начальник управления запасов ТПИ – главный геолог ФБУ «ГКЗ»
Т.П. Линде, ученый секретарь ФБУ «ГКЗ», канд. экон. наук
Е.С. Ловчева, начальник отдела подземных вод ФБУ «ГКЗ»
Н.С. Пономарев, руководитель Тимано-Печерской нефтегазовой секции ЦКР-УВС, заместитель руководителя Центральной нефтегазовой секции ЦКР Роснедра по УВС
И.Ю. Рассказов, директор ИГД ДВО РАН, д-р техн. наук
М.И. Саакян, старший Вице-президент Заместитель Директора Филиала «ДеГольер энд МакНотон», канд. геол.-минерал. наук
Н.А. Сергеева, начальник управления по недропользованию ПА Сургутнефтегаз, канд. экон. наук
Н.И. Толстых, вице-президент НОУ «Школа Право ТЭК»
С.В. Шапклин, ведущий научный сотрудник Федерального исследовательского центра угля и углехимии СО РАН, д-р техн. наук
А.Н. Шандрыгин, главный научный сотрудник ООО «ГазпромВНИИГАЗ», д-р техн. наук

ПРЕДСТАВИТЕЛИ:

От Федеральных округов РФ
Центральный федеральный округ
С.С. Серый, ФГУП ВИОГЕМ, заместитель директора по науке, канд. техн. наук, lggt@mail.ru

Северо-Западный федеральный округ
С.В. Лукичев, начальник отдела Горного института КНЦ РАН, д-р техн. наук, lu24@goi.kolasc.net.ru

Приволжский федеральный округ
А.К. Вишняков, заведующий лабораторией ЦНИИГеолнеруд, канд. геол.-мин. наук, root@geolnerud.net, Technology-geolnerud@yandex.ru

Южный федеральный округ
И.И. Сендецки, генеральный директор ООО Южный центр Экспертизы недр, канд. геол.-мин. наук, yug-ekspertiza@mail.ru

Уральский федеральный округ
А.В. Гальянов, профессор кафедры маркшейдерии Уральского государственного горного университета, д-р техн. наук, sgimd@mail.ru

Сибирский федеральный округ
С.В. Костюченко, заместитель директора ООО СИАМ-Инжиниринг, д-р техн. наук, KostuchenkoSV@siamoil.ru

В зарубежных государствах

Австралийский Союз
М.В. Середкин, ведущий геолог CSA Global, Maxim.Seredkin@csaglobal.com

Азербайджанская республика
И.С. Гулиев, вице-президент Национальной Академии наук Азербайджана, академик НАНА, iguliyev@gia.az, ant@azdata.az

Кыргызская республика
И.К. Чунуев, профессор Кыргызского государственного университета геологии, горного дела и освоения природных ресурсов, канд. техн. наук, ichunuev@gmail.com
А.В. Рогольский, исполнительный директор Кыргызского общества экспертов недр
О.В. Ким, управляющий директор Kazakhstan mineral company, канд. геол.-мин. наук, okim@wkmc.kz

Республика Армения

Ю.А. Агабян, профессор Государственного инженерного университета Армении, д-р техн. наук, aghabalyan@mail.ru

Республика Беларусь

Я.Г. Грибик, заведующий лабораторией геотектоники и геофизики Института природопользования НАН Беларуси, канд. геол.-мин. наук, yaroslavgribik@tut.by

Республика Казахстан

В.В. Данилов, технический директор Kazakhstan mineral company, vdanilov@wkmc.kz

РЕДАКЦИЯ ЖУРНАЛА

Главный редактор – Денис Бурдин, burdin@naen.ru, d.b.burdin@yandex.ru
Выпускающий редактор – Наталья Решмакова, reshmakova@naen.ru
Редактор-корректор – Марина Сорокина, m.sorokina@naen.ru
Корректор – Наталья Телешенко, natu-09@mail.ru
Ведущий аналитик – Сергей Матвейчук, matvichuk@naen.ru
Ведущий редактор – Елена Поваренкова, e.povarenkova@naen.ru
Верстка – Мария Даценко, mary-ast@mail.ru

АДРЕС РЕДАКЦИИ:

115054, Москва, Б. Строченовский пер., 7, оф. 509
Тел.: +7 (495) 780-33-12
www.naen.ru
info@naen.ru, e.povarenkova@naen.ru, matvichuk@naen.ru

Подписано в печать 31.08.2023

Формат 60x90/8, объем 19 п.л.
Печать: ООО «Роликс»
Заявленный тираж 5000 экз.
Подписные индексы по каталогам:
«Роспечать» – 81974, «Урал-Пресс» – 014055
«Недропользование XXI век», 2022.

Перепечатка материалов журнала «Недропользование XXI век» невозможна без письменного разрешения редакции.
При цитировании ссылка на журнал «Недропользование XXI век» обязательна.
Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов.

Журнал по решению ВАК Министерства образования и науки РФ включен в «Перечень российских рецензируемых научных журналов, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук».

Издание включено в перечень РИНЦ по специальностям:
010601. Общая и региональная геология. Геотектоника и геодинамика. 010609. Геофизика.

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций.
Свидетельство ПИ № ФС77-28159 от 25.05.2007.

ISSN 1998-4685, ISSN 2782-4462 (эл.версия)



Уважаемые друзья!

Выходит в свет очередной, юбилейный номер нашего журнала! Уже много лет на его страницах освещаются вопросы повышения эффективности освоения георесурсного потенциала планеты, рассказывается о инновациях в области исследования недр, добычи и переработки полезных ископаемых, обсуждаются методические и юридические аспекты недропользования, системы регулирования отрасли.

Отрасль не стоит на месте, и входя в новую эпоху международных отношений, минерально-сырьевых рынков и технологий, наиболее актуальным встает вопрос поиска общего языка между всеми участниками нашей и смежных отраслей. На мой взгляд, вопрос поиска этого языка – ключевой вопрос ближайшей пятилетки и, надеюсь, площадка нашего журнала будет максимально этому способствовать.

Уважаемые друзья, хочу поблагодарить всех авторов, не только публикующихся в нашем журнале, но и только желающих выступить со своими идеями на его страницах! Приглашаю всех заинтересованных, небезразличных – участвовать в обсуждении вопросов недропользования, предлагать, создавать, делиться своим опытом!

С уважением, Д.Б. Бурдин

Вышел № 100 журнала «Недропользование XXI век»

В 2006 году вышел первый номер журнала «Недропользование XXI век», а спустя 17 лет читатели получили юбилейный сотый выпуск этого уникального издания. В такие юбилеи принято подводить итоги и намечать задачи на будущее.

Каждое периодическое издание имеет свою предварительную историю, которая объясняет мотивацию основателей на реализацию такого хлопотного проекта. В 2004 году руководителем ГКЗ был назначен Ю.А. Подтуркин (2004-2013 гг.). Именно с его именем связывают этап возрождения этой авторитетной в советское время экспертной организации в геологической отрасли. Вообще нулевые годы стали переломными в деле государственного управления недропользованием в России: возникает новая структура Роснедра; встает с колен ЦКР УВС, а затем создается новая экспертная структура ЦКР ТПИ. С целью поддержки развития этих экспертных организаций со стороны профессионального сообщества создаётся общественная структура – Национальная ассоциация по экспертизе недр (НАЭН). Во главе НАЭН встает С.А. Филиппов. Этот руководитель обладал не только профессиональным опытом и научными

знаниями (доктор технических наук), но и был талантливым организатором. Сергей Александрович убедил руководителей ГКЗ и ЦКР в необходимости создания печатного органа, который в такое сложное время организационной перестройки экспертной системы горно-геологической отрасли возьмёт на себя функцию просвещения и обобщения передового опыта. Ю.А. Подтуркин поддержал это начинание, и С.А. Филиппов стал первым главным редактором нового журнала. В НАЭН был образован издательский отдел в середине 2006г., куда были приглашены опытные научные редакторы из Горного журнала: И.В. Полянцева, Герасимова, Нестеренко, затем к ним присоединился журналист-аналитик С.Е. Матвейчук, а к концу года был выпущен первый номер журнала, название которому придумали руководитель редакции И.В. Полянцева и С.А. Филиппов. Большую роль в становлении журнала сыграл первый редакционный совет, куда были приглашены самые активные и авторитетные специалисты в области УВС, ТПИ, ПВ, их имена навечно остаются на второй странице номера в списке редсовета.

Широкий охват экспертной деятельности в горно-геологической отрасли предопределил тематическое разнообразие издания. С первого номера отличительной особенностью журнала по сравнению с другими изданиями сферы недропользования, было наличие постоянных рубрик: «Государственный взгляд» и «Правовое обеспечение». В этих рубриках выступали по актуальным вопросам недропользования представители исполнительной и законодательной власти, а также высококвалифицированные юристы. С 2008 года журнал получил аккредитацию в Минприроды, Госдуме и Совете Федерации. За прошедшие годы журнал стал трибуной для авторитетных производителей, политиков, учёных и экспертов, их выступления можно найти в бесплатном доступе к архивным номерам журнала на официальном сайте. Просветительская деятельность издания не ограничивалась только публикациями, журнал принимал активное участие



2006
2007
2008
2009
2010
2011
2012
2013
2014
2015
2016
2017
2018
2019
2020
2021
2022
2023

2006

2007

2008

2009

2010

2011

2012

2013

2014

2015

2016

2017

2018

2019

2020

2021

2022

2023

№3 (95) июнь 2022

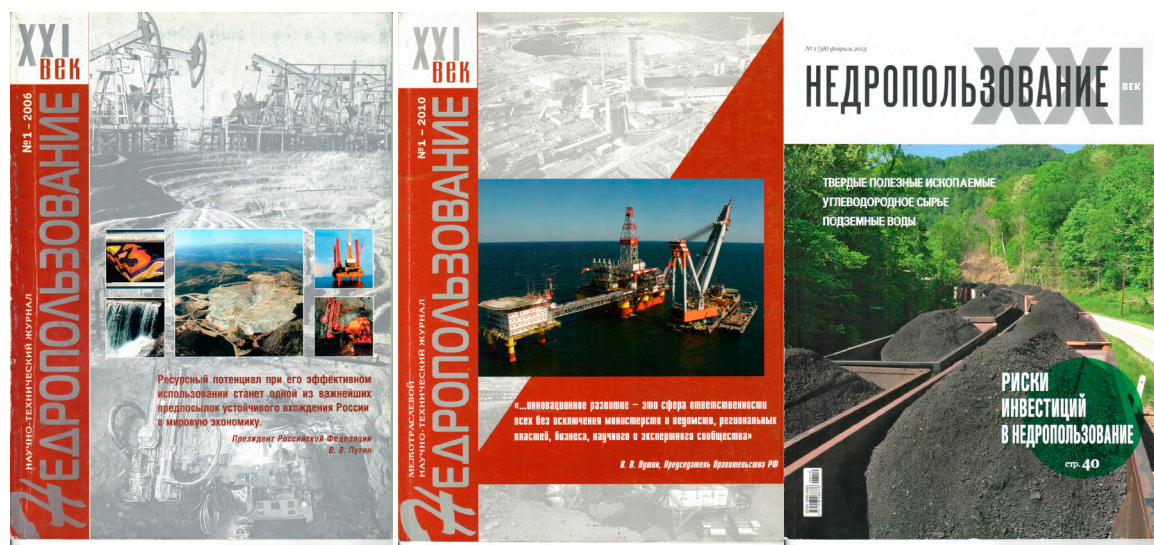
НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЕ ВЕК



в организации тематических семинаров, конференций, круглых столов и освещении итогов этих мероприятий. С 2007 года был налажен выпуск приложения «Библиотека журнала Недропользование XXI век», в рамках которой печаталась методическая, учебная, историческая литература.

После ухода С.А. Филиппова, главными редакторами были такие известные в горно-геологическом сообществе личности, как М.И. Щадов, Ю.А. Подтуркин, И.В. Шпуров. В самое трудное время, в период пандемии коронавирусной инфекции, редакцию возглавил Д.Б. Бурдин. Тогда редакции удалось успешно пройти серьезные испытания в виде карантинных ограничений и сокращения финансовых ресурсов. Пройти эти испытания помогло неравнодушное участие в судьбе журнала многих членов редакционного совета, а также председателя экспертного совета Асланбека Асхатовича Гермаханова.

Сейчас, в условиях новой политической и экономической реальности, перед журналом стоят задачи структурного характера. Очевидно, что перспективы развития лежат в освоении подачи информации через онлайн формат. Необходимо расширять присутствие журнала на информационном поле сферы недропользования в странах ЕАЭС и БРИКС. Правда такое развитие потребует серьезных инвестиций, следовательно необходимо работать над привлечением новых заинтересованных партнеров. При этом основы, заложенные отцами основателями издания, а также сложившийся коллектив постоянных авторов вселяют надежду на преодоление всех трудностей и успешную встречу нового юбилея – 20-й годовщины со дня основания журнала в 2026 году.



Редакция журнала

ТЕМА НОМЕРА

МИРОВЫЕ РЫНКИ И СТАНДАРТЫ
ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ И
НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЯ

№3-4

август
2023

- ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ВЗГЛЯД**
- 8 *А.А. Гермаханов, А.И. Черных, Е.В. Танин, О.В. Казанов, Д.Б. Бурдин*
Новые горизонты. Минерально-сырьевой потенциал Чукотского автономного округа
- ВОПРОС НОМЕРА**
- 15 *Д.Н. Решетняк, В. Ю. Мохунов, Н.И. Гулый, С.С. Стенякин*
Ведущие стандарты добровольных углеродных рынков для использования в России
- 28 **НОВОСТИ ИЗ КОМИТЕТА ГД**
- НАУКИ О ЗЕМЛЕ: СЫРЬЕВАЯ БАЗА И ГЕОЛОГОРАЗВЕДКА**
- 30 *В.С. Дадыкин, О.В. Дадыкина, Н.А. Язвенко*
Методические аспекты ранжирования участков недр по перспективности на основе применения нечеткой логики
- 34 *В.Н. Макаров*
Геохимическая оценка хвостохранилищ горно-обогатительных комбинатов Якутии
- 42 *А.А. Бурмистров, В.В. Хребтиевский, Е.А. Ерастов*
Предварительные исследования закономерностей связи петрофизических свойств с типами и интенсивностью метасоматических изменений вмещающих пород и руд Новониколаевского участка Михеевского медно-порфирового месторождения (Южный Урал)
- 52 *Ю.А. Чуриков, А.А. Самсонов, В.Т. Ишмухаметова*
Использование данных дистанционного зондирования Земли для анализа экологической нагрузки и рудного потенциала техногенных отвалов Ковдорского ГОКа
- 66 *Л.Г. Нерадовский*
Псевдокаротаж прочности осадочных пород в Южной Якутии на станции «Кюргеллях» по данным метода геофизики
- 76 *А.А. Борисов, М.А. Богуславский*
Обоснование параметров геологоразведочной сети Буруктальского месторождения на основе количественных показателей
- НАУКИ О ЗЕМЛЕ: ДОБЫЧА И ПЕРЕРАБОТКА**
- 82 *М.М. Шац*
Геотехнологические условия недропользования на золоторудном Тарынском месторождении (Восточная Якутия)
- ЭКОЛОГИЯ**
- 88 *В.Н. Комлев*
Радиоактивные отходы и недропользование: закон и порядок
- ДИСКУССИОННЫЙ КЛУБ**
- 98 *Н.П. Запивалов*
Нефть России в XXI веке
- 106 *Н.И. Акзигитов., В.Ю. Мастеркова, М.А. Басыров, Е.Г. Бородин, Е.Г. Колосова*
К вопросу о критериях обновления проектной документации при добыче подземных вод для ППД
- 112 *В.Н. Устьянцев*
Зоны разломов и их роль в процессе рудоенеза
- 118 *А.А. Логинов*
О результатах структурных преобразований отдела подземных вод ФБУ «ГКЗ»

ISSUE TOPIC

WORLD MARKETS OF MINERAL RESOURCES, STANDARDS OF THE MINING, GEOLOGICAL INDUSTRY AND SUBSOIL USE

№3-4

august
2023**STATE VIEW**

- 8 *A.A. Germakhanov, A.I. Chernykh, E.V. Tanin, O.V. Kazanov, D.B. Burdin*
New horizons. Potential mineral resource of Chukotka

ISSUE TOPIC

- 15 *D.N. Reshetnyak, V.Yu. Mohunov, N.I. Gulyi, S.S. Steniakin*
Leading standards of voluntary carbon markets for application in Russia

STATE NEWS**EARTH SCIENCES: COMMODITIES BASE AND GEO EXPLORATION**

- 30 *V.S. Dadykin, O.V. Dadykina, N.A. Yazvenko*
Methodological aspects of ranking subsurface areas by prospects based on the use of fuzzy logic
- 34 *V.N. Makarov*
Geochemical assessment of tailings of mining and processing plants in Yakutia
- 42 *A.A. Burmistrov, V.V. Khrebtievsky, E.A. Erastov*
Preliminary research of the petrophysical properties and the types and intensity of metasomatic alteration of rocks and ores of the Novonikolaevskoe field site of the Mikheevskoe porphyry copper deposit (Southern Urals)
- 60 *Yu.A. Churikov, A.A. Samsonov, V.T. Ishmukhametova*
Using Earth remote sensing data to analyze the environmental stress and ore potential of technogenic dumps of the Kovdorsky GOK
- 66 *L.G. Neradovskii*
Pseudo-logging of the strength of sedimentary rocks in South Yakutia at the station «Kyurgellyakh» according to the method of geophysics
- 76 *A.A. Borisov, M.A. Boguslavskiy*
Buruktal deposit drill hole spacing analysis based on quantitative indicators

EARTH SCIENCES: MINING AND PROCESSING

- 82 *M.M. Shatz*
Environmental and technological conditions for the development of the gold ore Taryn deposit (Eastern Yakutia)

ECOLOGY

- 88 *V.N. Komlev*
Radioactive waste and subsoil use: law and order

DISCUSSION CLUB

- 98 *N.P. Zapivalov*
Russian Oil in the 21st century
- 106 *N.I. Akzigitov, V.Y. Masterkova, E.G. Borodin, M.A. Basyrov, E.G. Kolosova*
On the issue of criteria for updating the project documentation for the extraction of groundwater for reservoir pressure maintenance system
- 112 *V.N. Ustyantsev*
Fault zones and their role in the process of ore production
- 18 *A.A. Loginov*
On the results of structural transformations of the groundwater department of FBU «GKZ»

**ГЕРМАХАНОВ А.А.**

заместитель руководителя
Федерального агентства по
недропользованию (Роснедра)

**ТАНИН Е.В.**

Министерство природных ресурсов и экологии РФ,
Директор Департамента государственной
политики и регулирования в области геологии и
недропользования

**ЧЕРНЫХ А.И.**

канд. геол.-мин. наук
ФГБУ ЦНИГРИ
генеральный директор

**КАЗАНОВ О.В.**

ФГБУ ВИМС
генеральный директор

**БУРДИН Д.Б.**

канд. экон. наук
ФБУ «ГКЗ»
главный геолог
заместитель председателя
ЦКР-ТПИ Роснедр

НОВЫЕ ГОРИЗОНТЫ. МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВОЙ ПОТЕНЦИАЛ ЧУКОТСКОГО АВТОНОМНОГО ОКРУГА

Обширные территории Российской Федерации располагаются в арктических условиях. Одним из ключевых регионов, имеющих стратегическое и экономическое значение в вопросе развития Арктики и обеспечения стратегической безопасности России является Чукотский автономный округ. В статье рассмотрены вопросы развития минерально-сырьевого потенциала региона в контексте его синергетического влияния на обеспечение стратегической, экономической и минерально-сырьевой безопасности, а также роль этого потенциала в вопросе развития Северного морского пути.

Ключевые слова: Арктика, Северный морской путь, минеральные ресурсы, запасы, полезные ископаемые, сырьевая безопасность, экономика, геологоразведка, добыча полезных ископаемых.

Российская Федерация, обладая самой большой в мире территорией, отличается уникальным разнообразием географических условий. Значительная северная часть нашей страны расположена в арктической зоне, которая характеризуется богатством минерально-сырьевой базы (МСБ).

СПРАВКА

2 мая 2014 года президент Путин подписал указ № 296 «О сухопутных территориях Арктической зоны Российской Федерации», который определил сухопутные территории Арктической зоны России. Впоследствии в указ были внесены изменения и дополнения (указы президента РФ от 27.06.2017 г. № 287, которым в список были внесены Беломорский, Кемский и Лоухский районы Карелии, и от 13.05.2019 № 220, которым были добавлены восемь районов Якутии).

Под Арктической зоной РФ понимаются сухопутные территории и примыкающие к ним внутренние морские воды РФ и территориальное море РФ, участки континентального шельфа РФ, а также земли и острова, которые в будущем могут быть открыты, не являющиеся территориями иностранных государств, расположены в Северном Ледовитом океане к северу от побережья РФ до Северного полюса в пределах между меридианом тридцать два градуса четыре минуты тридцать пять секунд восточной долготы от Гринвича, проходящим по восточной стороне Вайда-губы через триангуляционный знак на мысе Кекурский, и меридианом сто шестьдесят восемь градусов сорок девять минут тридцать секунд западной долготы от Гринвича, проходящим по середине пролива, разделяющего острова

Ратманова и Крузенштерна группы островов Диомиды в Беринговом проливе, на которых в соответствии с настоящим федеральными законами устанавливаются меры государственной поддержки предпринимательской деятельности. Территория континентальной суши составляет 4,9 млн км². Острова занимают площадь 0,2 млн км. Шельфовые и внутренние моря достигают площади 4 млн км².

В 2009 г. мировое научное и политическое внимание было приковано к журналу Science, на страницах которого было опубликовано исследование, относительно природных богатств Арктических территорий. Исследования, описываемые в данной статье демонстрировали наличие подо льдами Арктики не менее 83 млрд баррелей нефти (примерно 10 млрд т), что составляет 13% от мировых неразведанных запасов. На ряду с этим, мировое научное и экспертное сообщества сходятся в оценках, что на территории Арктики сосредоточено около 1550 трлн кубометров природного газа. Если большая часть неразведанных запасов нефти, по оценкам специалистов, залегает вблизи берегов Аляски, а почти все арктические запасы природного газа располагаются в прибрежной территории РФ и, что не маловажно, большая часть ресурсов находится на глубине менее 500 м.

В Арктической зоне РФ сконцентрирована добыча порядка 90 % природного газа и около 80 % (от общероссийских разведанных запасов) газа промышленных категорий.

Вместе с тем, в арктической зоне РФ располагаются уникальные запасы и прогнозные ресурсы медно-никелевых руд, олова, платинидов, агрохимических руд, редких металлов и редкоземельных элементов, крупные запасы зо-



лота, алмазов, вольфрама, ртути, черных металлов, оптического сырья и поделочных камней.

Недра Арктики также содержат и дефицитные – стратегические виды минерального сырья: месторождения марганца, хрома, титана, урана, меди, вольфрама, ртути и др. На шельфе и арктических архипелагах установлены запасы и прогнозные ресурсы всех категорий россыпного олова, золота, алмазов, руд, марганца, цветных металлов, серебра, флюорита, поделочных камней, различных самоцветов.

При этом, в середине марта 2023 года, агентство Bloomberg назвало Арктику новым регионом возможного столкновения интересов крупнейших мировых держав.

После продолжительной работы над перспективными направлениями, 26 октября 2020 президент России Владимир Путин подписал Стратегию развития Арктической зоны России и обеспечения национальной безопасности до 2035 года.

В данном документе нашли отражение основные цели, задачи, методология, стратегические направления и инструменты реализации политики России в Арктике. В соответствии со Стратегией, в качестве основных факторов, обеспечивающих национальные интересы

определены: обеспечение суверенитета, территориальной целостности государства, а также достижение высокого уровня благосостояния и качества жизни населения. На ряду с этим, рассматривается концепция, в которой Арктическая зона РФ является ключевой в обеспечении ресурсного потенциала, обеспечивающего решение задач социально-экономического развития всей страны.

Важнейшим элементом реализации стратегии развития российской Арктики является развитие Северного морского пути. Сегодня данная логистическая система вызывает огромный интерес всего мирового сообщества. Данный интерес вызван объективными фактами, среди которых: Северный морской путь обеспечивает кратчайший путь, связывающий Европу и динамично развивающийся Азиатско-Тихоокеанский регион (АТР), – будущее мировой морской логистики и торговли; закономерное развитие инфраструктуры на всем протяжении Северного морского пути – ключ к уникальному гигантскому ресурсному потенциалу Арктики.

Прошедший 2022 год стал, во многом, ключевым, в развитии проекта развития Северного морского пути: Правительство РФ распоряжени-

ЧУКОТСКИЙ АВТОНОМНЫЙ ОКРУГ



ем от 1 августа утвердило план его реализации до 2035 года с объемом финансирования в 1,79 трлн рублей. Основным целевым показателем этого решения определено – увеличение грузопотока по Севморпути до 80 млн тонн к 2024 году, к 2030 году – до 150 млн, к 2035 году – до 220 млн тонн.

По оценкам экспертов, реализация такого амбициозного плана даст экономике нашей страны более 13,2 трлн рублей налоговых поступлений и 31,5 трлн рублей добавленной стоимости до 2035 года.

При этом – два порта Чукотки: Певек и Провидения, станут «опорными точками» для развития Севморпути и будут обеспечивать основные потребности логистической системы: безопасность судоходства, развитие инфраструктуры и пр. В свою очередь, это откроет новые возможности для региона – реализации в Чукотском автономном округе инвестиционных проектов, развития собственной энергетики.

Как мы видим, в основных стратегических направлениях развития нашей Родины, Чукотскому автономному округу отводится важная роль в вопросе развития Российской Арктики.

В отдельных стратегических вопросах освоения минерально-сырьевой базы Арктики, Чукотка уже занимает лидирующие позиции. В отраслевой структуре Чукотского автономного округа

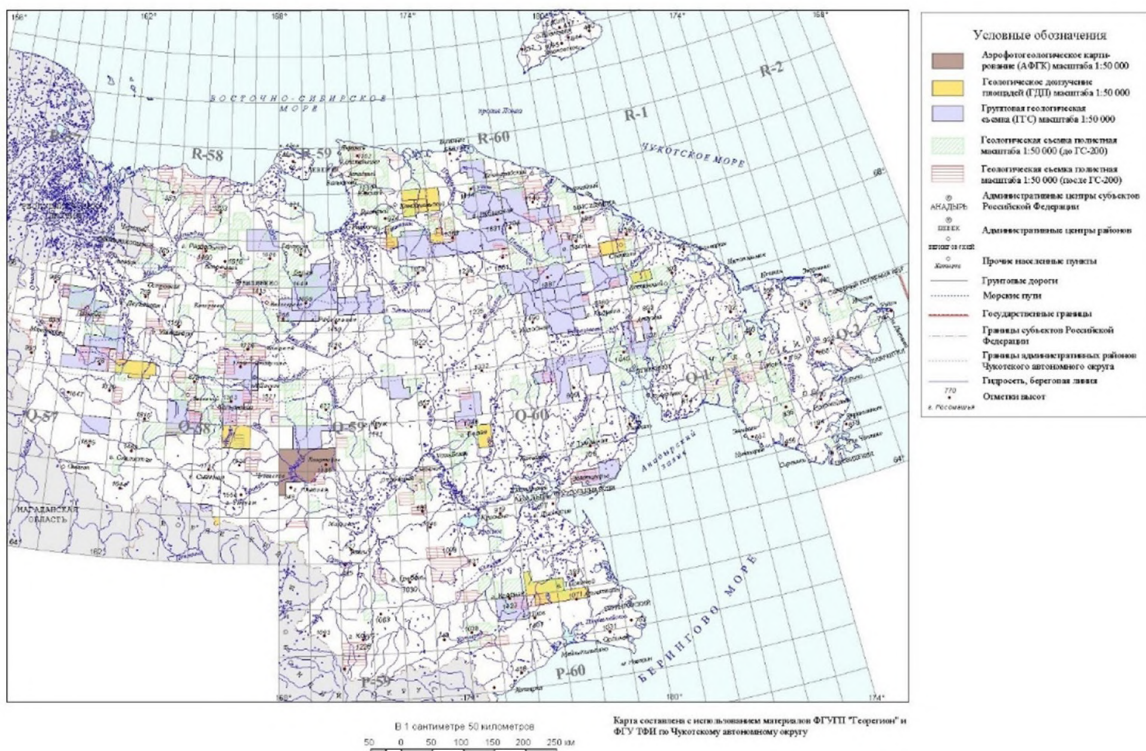
горногеологическая отрасль и недропользование занимает преобладающее значение – более 50%.

Основой экономики региона является добыча полезных ископаемых, здесь известны месторождения золота, серебра, меди, олова, вольфрама, каменного угля. Затраты на геологоразведочные работы в 2022 году в Чукотском АО за счет всех источников финансирования составили около 4,6 млрд. руб, из них на благородные металлы около 4,4 млрд. руб т.е. 92 %. Это подчеркивает высокую значимость недропользования в структуре минерально-сырьевой базы Чукотки и особенно – золотодобычи.

Золото. Чукотка исторически является одним из ведущих золотодобывающих регионов Российской Федерации, занимая по объему добычи в 2022 году на уровне 22 т 8 место. Если до 2007 года в структуре добычи преобладало россыпное золото, то в дальнейшем объем добычи из россыпей упал, а резко выросла добыча из коренных месторождений до 32 т в 2014 году. Однако затем по мере выработки подготовленных запасов рудного золота добыча стала падать.

По запасам золота около 779 т Чукотский АО занимает 7 место в России. Большая часть запасов около 75 % сосредоточена в трех крупных месторождениях – разрабатываемом Майском (около 173 т), а также подготовли-

ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ОКРУГ
ЧУКОТСКИЙ АВТОНОМНЫЙ ОКРУГ
ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ИЗУЧЕННОСТЬ
Геологическая съемка масштаба 1 : 50 000



ваемых к освоению Песчанка (около 350 т) и Кекура (66 т).

Дальнейшее наращивание минерально-сырьевого потенциала золота и серебра связано с реализацией крупных горнопромышленных проектов, активизацией работ по имеющимся лицензиям на рудное и россыпное золото и подготовкой новых перспективных площадей для лицензирования.

Наиболее крупный инвестиционный горнопромышленный проект на Чукотке – это освоение золотомедного месторождения Песчанка компанией KAZ Minerals с запасами меди около 6,4 млн. т. Ввод строящегося ГОКа запланирован на 2027 год. Ежегодное планируемое производство меди около 300 тыс. т и золота 12,4 т. Уже построена взлетно-посадочная полоса для обеспечения строительства ГОКа. Кроме того, будет построена дорога до порта Певек, откуда медный концентрат будет транспортироваться по Северному морскому пути. Ожидается, что после выхода ГОКа на проектную мощность будет создано около 3000 рабочих мест. Общий бюджет проекта оценивается в 730 млрд. руб.

Крупный инвестиционный проект по освоению месторождения Кекура, в том же Баимском рудном районе, что и Песчанка, близится к завершению. С конца 2022 года на золото-извлекательной фабрике ведутся пуско-наладочные работы. Компания Highland Gold планирует вывести ее на проектную мощность к концу 2023 года. Ежегодное производство по золоту ожидается на уровне 5,3 т. Инвестиции в проект оцениваются в 18 млрд. руб.

В Чукотском автономном округе на золото выдано 209 лицензий, из них 111 на россыпное золото, на серебро 6 и на медь 3 лицензии.

Однако, при всей позитивной картине, анализ данных показывает наличие нескольких десятков лицензий, по которым, к сожалению, работы ведутся либо с нарушением сроков исполнения лицензионных обязательств или не ведутся совсем. Минприроды России совместно с Роснедрами принимает все необходимые меры для активизации работ, для наращивания запасов золота.

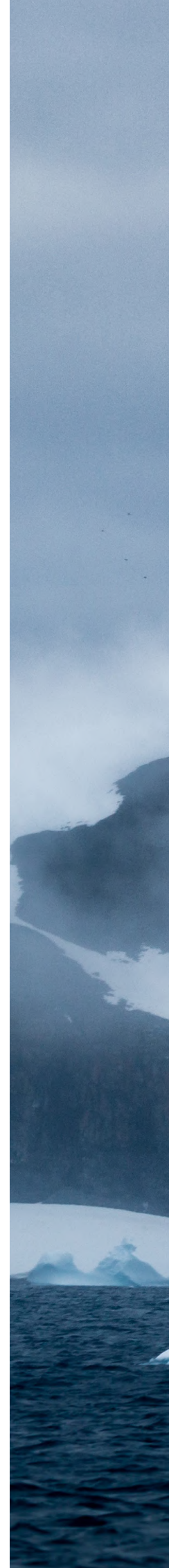
Апробированные прогнозные ресурсы золота для территории Чукотки суммарно составляют около 2360 т, из них в нераспределенном фонде недр по категории Р3 около 1380 т, по категории Р2 около 180 т. Формирование ресурсной базы в последние 20 лет производится, главным образом за счет средств федерального бюджета. Ежегодно на территории Чукотки ведутся работы на золото и серебро по 1-3 объектам. Общие ассигнования по завершенным в период 2010-2023 гг. объектам

по Чукотскому АО составили более 3,8 млрд. руб. К сожалению, в последние годы наметилась тенденция к снижению результативности поисковых работ и снижению темпов прироста прогнозных ресурсов, из-за исчерпания поискового задела. Основными причинами низкой результативности поисковых работ являются слабая изученность большей части Чукотки, сложные природно-климатические и инфраструктурные условия и отсутствие на территории геологических предприятий, способных выполнять поисковые работы в большом объеме. Необходимо выработать комплекс мер для наращивания прогнозных ресурсов золота Чукотки и реализации ее золоторудного потенциала, в новые месторождения и увеличение добычи.

Также регион является перспективным и в части обеспечения Российской Федерации наиболее ценным, дефицитным стратегическим минеральным сырьем.

Хром. Перспективы наращивания МСБ хромовых руд в пределах ЧАО – значительные (Р3 – 34,67 млн т) и составляют половину от потенциала всего Дальневосточного региона (Р3 – 61,67 млн т), в том числе 15,25 % от суммы прогнозных ресурсов Российской Федерации. Здесь выявлены объекты хромовых руд, связанные с мезозойскими альпинотипными массивами с ожидаемым высокохромистым типом оруденения (Cr_2O_3 – более 36%). Наиболее изученные Красногорский и Чирынайский массивы. Хромитоновость была выявлена и изучена при проведении ГДП-50 в 1965-1972 гг. Перспективы выявления хромитоновых объектов с высокохромистым (металлургическим) типом оруденения Чирынайского, Тамватнейского, Красногорского и др. массивов – высокий потенциал хромитоновости региона может быть значительно увеличен за счет изучения других габбро-гипербазитовых массивов в зонах серпентинитового меланжа позднеюрско-раннемелового Корякско-Чукотского пояса.

Уран. Выявлено ряд проявлений с жильно-штокверковым типом оруденения, связанных с мезозойскими вулканотектоническими структурами Провиденской, Камынейской, Певекской и Уэленской металлогенических зон Чукотской провинции. Наиболее изученное урановое оруденение Провиденской зоны представлено перспективным фтор-молибден-урановым геолого-промышленным типом. Работами 60-70 гг. прошлого столетия здесь выявлены мелкие урановые месторождения Киф и Провиденское, а также ряд участков с рудопроявлениями урана – Румилетское, Асяльвик, Алаида, Северное, Береговое. Перспективы региона могут быть расширены за счет специализированных поисковых



работ. Здесь могут быть выявлены сближенные средние объекты жильно-штокверкового типа в вулканогенно-тектонических структурах – 5-10 тыс. т с содержаниями 0,03-0,2%, известны пересечения до 1%.

Основной потенциал Чукотского автономного округа – **олово**. Крупнейшие месторождения Валькумейское, Иультинское, Солнечное – активно эксплуатировались до 1992 года. За это время добыто более 200 тыс. т олова и около 90 тыс. т WO₃ (попутно). В настоящий момент МСБ региона составляют крупные по запасам месторождения: россыпь Валькумейская (более 15 тыс. т олова), штокверки Крутой (более 110 тыс. т) Первоначальный (88 тыс. т) – составляющие более 10% запасов РФ. Наибольшими перспективами для восстановления оловорудной промышленности имеет Перкакайский оловорудный узел Раучунской зоны (ПАО «Русолово») за счет своего географического положения – в зоне береговой линии Чаунской губы и близ г. Певек (85 км). Валькумейский узел может быть вовлечен также за счет расположения в непосредственной близости от Перкакайского узла. Перспективы воспроизводства МСБ олова также связаны с рудными узлами Тенкерги-Иультинского и Кувет-Куэвуньского рудных районов, где были отработаны уникальные оловорудные объекты (Иультинское), связанные с раннемеловыми гранитоидами.

Каменный и бурый уголь. Перспективы расширения МСБ угля имеют важное значение для региона. Прогнозные ресурсы заключены в Беринговском угольном бассейне перспективны ввиду значительности запасов каменного угля высокого качества и выгодного географического расположения. В данном бассейне выявлены многочисленные (более 30) объекты (преимущественно P2 и P3), относимые к бу-

рым и каменным углям угленосных районов Бухта Угольная, Амаамская и Алькатваамский.

Наибольшими перспективами для восполнения выбывающих запасов имеются у кластеров, расположенных в непосредственной близости к прибрежной части Чукотского полуострова – Бухта Угольная.

Бухта Угольная характеризуется значительными ресурсами высокой категории достоверности – категории P1, общие ресурсы (P1-P2) наиболее изученных участков месторождения до глубины 300 м оцениваются в 870 млн т, из них 140 – для открытого способа добычи. Высокими перспективами также обладают известные месторождения, изучение флангов которых может дать значительный прирост запасов: месторождения бурого угля Ушумунское (P1 – более 1 млрд.т), Койнатхунское (P1 – более 3 млрд. т), каменного угля – Амаамское месторождение (P1 – более 300 млн т). Развитие крупных угольных кластеров станет для региона катализатором для создания промышленных кластеров.

Освоение месторождений угольного кластера, несомненно, должны будут включать в себя и создание внешней транспортной и энергетической инфраструктуры – круглогодичного угольного терминала в глубоководной лагуне Аринай для вывоза угля, автомобильную и железную дороги от месторождений к порту, угольную электростанцию.

Нефть и газ. Помимо всего прочего Чукотский автономный округ обладает перспективами и в сфере нефтегазовой промышленности, которые включают перспективы по освоению Телекайского участка, на котором выявлены ВерхнеТелекайское нефтегазоконденсатное, ВерхнеЭчинское и Ольховое нефтяные месторождения и ряд перспективных нефтегазоносных структур.

Таблица 1.

Основное движение запасов ПИ в 2022-6мес.2023 гг.

Год	Полезное ископаемое	Единица измерения	Балансовые запасы, A+B+C ₁ +C ₂	Забалансовые запасы, A+B+C ₁ +C ₂	Наиболее существенный прирост
2022	Золото	кг	2240,8	1476,0	Месторождение «Купол» - 71% от прироста всех балансовых запасов
	Серебро	т	35,6	26,6	Месторождение «Купол» - 90% от прироста всех балансовых запасов
	Уголь марки Ж	тыс. т	264,0	7434,0	уч. «Надежный» - 73% от прироста всех балансовых запасов
2023	Золото	кг	2276,2	-301,7	Месторождение «Валунистое» - 96% от прироста всех балансовых запасов
	Серебро	т	2,5	-1,1	Месторождение «Валунистое» - 100% от прироста всех балансовых запасов

Долгосрочные перспективы нефтегазовой отрасли связаны с освоением шельфа морей, омывающих Чукотку. Потенциальные нефтегазовые ресурсы шельфа оцениваются по нефти в 3,5 млрд т, по газу – в 7,6 трлн м³, однако их труднодоступность и отсутствие промышленно развитой инфраструктуры не обещают освоение этих ресурсов в ближайшие годы.

На фоне имеющихся перспектив хочется выделить и дополнительные возможности региона, определяемые имеющимися негативными факторами – стратегическими угрозами. К ним можно отнести: сложные климатические условия, слабо развитая инфраструктура, недостаточное качество и достоверность (в принятых методиче-

ских постулатах) георесурсного потенциала, недостаточный уровень поискового задела, слабый уровень энергетической инфраструктуры.

В целях нивелирования данного круга негативных факторов наиболее актуально встают вопросы поддержки реализации инновационного задела, который может выражаться в развитии новых научных подходов, технико-технологических новаций, внедрения и развития передовых технологий, обеспечивающих поисковый задел, повышающих достоверность оценок, способствующих открытию новых месторождений, обеспечивающих рациональное недропользование, технико-технологический и ресурсный суверенитет РФ. ^{XXI}

UDC: 338.1, 553.04

A.A. Germakhanov, Deputy Head of the Federal Agency for Subsoil Use (Rosnedra)

E.V. Tanin, Ministry of Natural Resources and Ecology of the Russian Federation, Director of the Department of State Policy and Regulation in the Field of Geology and Subsoil Use

A.I. Chernykh, Candidate of Geol.-mineral sciences, honorary prospector of mineral resources, General manager FSBI TSNIGRI, tsnigri@tsnigri.ru

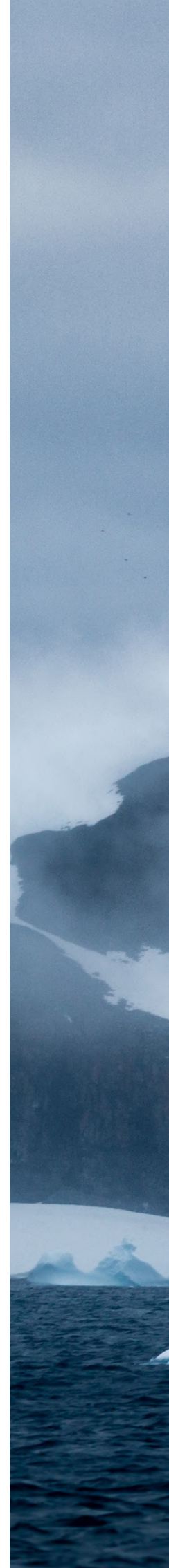
O.V. Kazanov, General Director of FSBI VIMS, vims@vims-geo.ru

D.B. Burdin, Chief Geologist, FBO State Reserves Commission; Deputy Chairman, Central Development Committee for Solid Commercial Minerals, burdin@naen.ru

NEW HORIZONS. POTENTIAL MINERAL RESOURCE OF CHUKOTKA

Abstract: Vast territories of the Russian Federation are located in Arctic conditions. One of the key regions of strategic and economic importance in the development of the Arctic and ensuring Russia's strategic security is the Chukotka. The article discusses the development of the mineral resource potential of the region in the context of its synergetic impact on ensuring strategic, economic and mineral resource security, as well as the role of this potential in the development of the Northern Sea Route.

Keywords: Arctic, Northern Sea Route, mineral resources, reserves, minerals, raw material security, economy, geological exploration, mining.





Решетняк Д.Н.
ПАО «НК «Роснефть»
менеджер Департамента
углеродного менеджмента
DN_Reshetnyak@rosneft.ru



Мохунов В.Ю.
ООО «ПИУЦ «Сапфир»
руководитель сектора технологий
устойчивого развития
v.mohunov@aetc-spb.ru



Гульи Н.И.
ООО «ПИУЦ «Сапфир»
главный специалист сектора
технологий устойчивого развития
n.gulyi@aetc-spb.ru



Стенякин С.С.
Санкт-Петербургский горный университет
студент
s.steniakin@gmail.com

ВЕДУЩИЕ СТАНДАРТЫ ДОБРОВОЛЬНЫХ УГЛЕРОДНЫХ РЫНКОВ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В РОССИИ

В статье приведен обзор ведущих мировых, национальных и региональных стандартов, которые действуют на добровольных углеродных рынках. Рассмотрены механизмы функционирования добровольных углеродных рынков, определяющие их работу принципы, а также требования и руководства, лежащие в их основе. Систематизирована информация о результатах деятельности представленных стандартов, произведено сравнение количественных эффектов и оценен вклад в общие усилия по снижению вреда выбросов парниковых газов. Обозначены основные предпосылки и драйверы развития климатической повестки в России, а также причины, сдерживающие организацию как добровольного, так и регулируемого рынка России.

Ключевые слова: углеродный рынок, парниковые газы, климатический проект, углеродная единица, углеродный стандарт, декарбонизация, низкоуглеродное развитие.

По данным Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК), к 2030 году человечество должно вдвое сократить выбросы углекислого газа и значительно сократить выбросы парниковых газов (ПГ), чтобы сохранить 50-процентный шанс избежать наихудших последствий изменения климата. К 2050 году в отношении CO₂ должен быть достигнут «чистый ноль», когда выбросы будут полностью компенсированы.

Такие сокращения потребуют глобальных действий со стороны национальных и местных органов власти, а также бизнеса и гражданского общества. Компании и организации должны использовать все имеющиеся в их распоряжении инструменты для достижения целей по сокращению выбросов.

Странами применяются различные инструменты регулирования объемов выбросов ПГ в соответствии с особенностями состояния, структурой и уровнем развития национальных экономик. В результате у каждой страны формируется индивидуальный подход в рамках климатической повестки, что нашло отражение в ОНУВ¹ в рамках участия в Парижском соглашении. В числе экономических инструментов многие страны применяют субсидии в отношении климатических проектов, штрафы за выбросы загрязняющих веществ, углеродные налоги за эмиссию парниковых газов, устанавливают предельные уровни выбросов парниковых газов, организуют торговлю невыбранными квотами на

выбросы между регионами и странами, обеспечивают взаимное признание отдельных сертифицированных углеродных единиц. Все это и формирует углеродный рынок.

В целом современный углеродный рынок развивается по нескольким направлениям. Первое – это национальные и государственные обязательные системы квотирования. Второе направление – проектное, т.е. торговля сокращениями выбросов в рамках добровольных климатических проектов в целях содействия устойчивому развитию. Третий вариант функционирования углеродного рынка – региональная торговля квотами между странами.

Проекты, обеспечивающие сокращение выбросов, можно в общих чертах сгруппировать в категории, **Рис.1**.

(а) Использование возобновляемых источников энергии (ВИЭ), биотоплива, включая солнечную, ветровую, геотермальную энергетику, биоэнергетику и гидроэнергетику;

(б) Производство и потребление низкоуглеродной энергии, к примеру, строительство новой электростанции, использующей газ, который ранее сжигался на факеле;

(с) Повышение энергоэффективности генерирующих установок, зданий и инфраструктурных объектов, использование тепловых насосов, экономических систем контроля климата в зданиях;

(д) Улавливание, хранение, разложение парниковых газов, к примеру, сбор и утилизация свалочного газа, утилизация метана в животно-



Рис. 1. Категории проектов сокращения выбросов ПГ

водстве, утилизация попутного нефтяного газа, улавливание дымовых газов;

(e) Предотвращение выбросов парниковых газов, к примеру, использование отходов биомассы в качестве сырья при производстве бумаги, картона и так далее;

(f) Замена сырья и топлива, такие как переход с угольной генерации на газовую или переход на электрические и гибридные транспортные средства;

(g) Поглощение углекислого газа биомассой, к примеру, защита лесов высокой природоохранной ценности, улучшенное лесопользование, защита лесов от пожаров, лесовосстановление и лесоразведение.

Добровольные углеродные рынки существуют уже около двух десятков лет. Однако до 2005 г. они находились в зачаточном состоянии. Вступление в силу Киотского протокола в 2005 г. послужило катализатором развития добровольного углеродного рынка, придав ему необходимый импульс и вектор. В отличие от систем квотирования и торговли выбросами, которые регламентируется государствами и, соответственно, предъявляют единые требования к эмитентам, добровольный углеродный рынок более гибок, здесь допускается многообразие применяемых стандартов и возможность выбора реализатором проекта того стандарта, который будет наиболее соответствовать целям того или иного проекта.

Целью данной статьи является выявление особенностей ведущих стандартов и результатов функционирования добровольных углеродных рынков в отдельных зарубежных странах, а также преимуществ этих инструментов для обоснования использования в России.

Добровольные углеродные рынки

В России в сентябре 2022 года запущен национальный добровольный рынок² углеродных единиц³ от климатических проектов⁴. На международном уровне продолжают динамично развиваться независимые механизмы, позволяющие получать, отслеживать и торговать такими единицами, а также согласованы правила передачи углеродных единиц в рамках механизмов Парижского соглашения.

В зависимости от того, кто формирует правила и ведет реестры, можно выделить несколько разновидностей добровольных рынков. Во-первых,

это международные механизмы (по стандартам международных организаций). Во-вторых, независимые механизмы (по стандартам независимых от государств, преимущественно некоммерческих организаций). И в-третьих, национальные и региональные механизмы (по стандартам правительств соответствующих юрисдикций).

Добровольными рынками, как правило, пользуются компании, которые не подпадают под обязательное регулирование выбросов парниковых газов, работают в юрисдикциях, где квотирование эмиссии парниковых газов отсутствует или, внедрили развитые климатические политики в корпоративную культуру. Такие компании, как правило, добровольно принимают на себя ответственность минимизировать влияние на климат и сократить углеродный след своей продукции, в том числе приобретая углеродные единицы, когда технологические решения недоступны или не дают значительного эффекта. Кроме того, компании могут самостоятельно получать углеродные единицы в качестве результатов реализации климатических проектов как по сокращению выбросов, так и по увеличению поглощения углерода из атмосферы. [5]

Климатические проекты многочисленны и разнообразны, поэтому для выпуска надежных углеродных единиц необходимы критерии и стандарты, а для упорядочивания их оборота – реестры. Устанавливая критерии, стандарты и реестры углеродных единиц, организации или правительства создают механизмы оборота углеродных единиц. Стандарты могут фокусироваться на общих критериях для климатических проектов (программный подход) или на критериях для конкретных климатических проектов (проектный подход).

Большинство добровольных углеродных рынков предъявляет следующие требования к реализуемому климатическим проектам, **Рис.2:**

(a) Подлинность. Все сокращения выбросов и удаления ПГ, а также проекты или программы, которые их генерируют, должны быть подтверждены как действительно осуществленные.

(b) Измеримость. Все сокращения выбросов и удаления ПГ должны поддаваться количественной оценке с использованием признанных инструментов измерения (включая поправки на неопределенность и утечку) в сравнении с достоверным исходным уровнем выбросов.

1. ОНУВ – определяемый на национальном уровне вклад в достижение целей Парижского соглашения.

2. Добровольный углеродный рынок — это площадка, где частные лица, корпорации и другие субъекты выпускают, покупают и продают углеродные единицы вне регулируемых или обязательных инструментов ценообразования на выбросы углерода. [1]

3. Углеродная единица – 1 тонна углерода или эквивалента CO₂, которая используется для измерения выбросов и поглощения ПГ.

4. Климатический проект – инициатива по принятию мер или достижению целей, связанных с изменением климата, основанная на следующих приоритетах: снижение рисков изменения климата и/или адаптация к этим изменениям в рамках политики в области климата. Еще одно определение климатического проектирования - деятельность, приводящая к сокращению выбросов или увеличению удаления парниковых газов изменяющая условия, которые идентифицированы в базовом сценарии.

ВОПРОС НОМЕРА

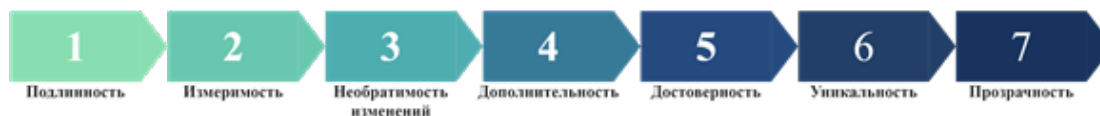


Рис. 2. Требования добровольных углеродных рынков к климатическим проектам



Рис. 3. Схема функционирования углеродного рынка

(с) Необратимость изменений. В тех случаях, когда сокращение выбросов или удаление ПГ обеспечивается проектами или программами, которые сопряжены с риском обратимости, должны быть приняты адекватные меры предосторожности для минимизации риска обратимости и наличия механизма, гарантирующего сокращения или удаления будут заменены или компенсированы.

(d) Дополнительность. Дополнительность представляет собой чистую экологическую выгоду и реальное снижение выбросов парниковых газов сверх базового сценария, т.е. сценария естественного развития процессов, связанных с климатом. Концепция дополнительности является жизненно важным фактором для количественной оценки объемов снижения выбросов парниковых газов в результате проекта. Дополнительность должна быть продемонстрирована положительным результатом оценки для конкретного проекта. [11]

(e) Достоверность. Все сокращения выбросов и удаления ПГ должны быть подтверждены с разумной степенью уверенности аккредитованным органом по валидации/верификации, обладающим необходимым опытом как в стране, так и в секторе, в котором осуществляется проект.

(f) Уникальность. Каждый проект должен быть связан только с одним мероприятием по сокращению или поглощению выбросов ПГ. Не должно быть двойного учета или двойного заявления об экологической выгоде в отношении сокращения выбросов или поглощения ПГ.

(g) Прозрачность. Должно быть достаточное и надлежащее публичное раскрытие информации, связанной с проектом, чтобы предполагаемые пользователи и приобретатели углеродных единиц могли принимать решения о зачете или покупке углеродных единиц с разумной уверенностью. [14]

Климатические проекты помогают компаниям достичь поставленных целей в области устойчивого развития и декарбонизации производственной деятельности. Климатические проекты на основе природного поглощения дополняют действия компании по сокращению выбросов на собственных активах.

Цели и задачи реализации климатических проектов:

- Выполнение обязательств по сокращению выбросов парниковых газов (в том числе – ОНУВ⁵);
 - Использование в целях компенсации углеродоемкости продукции, процессов;
 - Дополнительный источник финансирования;
 - Использование в маркетинговых целях.
- Общая схема функционирования углеродного рынка выглядит следующим образом, **Рис.3:**
- Инвентаризация парниковых газов;
 - Разработка климатического проекта, подготовка проектной документации;
 - Валидация, проверка климатического проекта верификатором на соответствие требованиям;
 - Регистрация климатического проекта, заключение договора с Оператором, открытие лицевого счета в Реестре углеродных единиц⁶;
 - Реализация климатического проекта;
 - Верификация проекта, отчета;
 - Выпуск в обращение углеродных единиц.

Действующие стандарты и механизмы добровольных углеродных рынков

Международные инструменты представлены механизмами Рамочной конвенции об изменении климата ООН. Именно они дали импульс к реализации климатических проектов и оказали влияние на становление их критериев и стандартов. Проектные механизмы Киотского протокола

позволили странам, имеющим обязательства по сокращению выбросов, использовать для их достижения результаты зарубежных климатических проектов. С отказом ряда стран от участия во втором периоде Киотского протокола (2013-2020) интерес к ним снизился, но согласование правил реализации механизмов Парижского соглашения в 2021 году дало международным механизмам новый импульс.

Независимых механизмов достаточно много, но доминируют на этом рынке четыре организации, обеспечивающие больший объем и рыночной стоимости этих механизмов. Прежде всего, это крупнейший независимый механизм Verra (США), затем следуют Gold Standard (Швейцария), Climate Action Reserve (США) и American Carbon Registry (США). Все они имеют западное происхождение и в основном обеспечивают потребности западных компаний в углеродных единицах за счет реализации климатических проектов в развивающихся и наименее развитых странах. Фактически именно эти стандарты являются бенчмарком для независимых механизмов. На **Рис.4** представлена хронология основания основных добровольных стандартов.

Получают все большее распространение национальные и региональные механизмы. Часто они внедряются параллельно с обязательными механизмами ограничения выбросов парниковых газов (квоты или углеродные налоги) и предоставляют возможность регулируемым компаниям выполнять часть своих обязательств за счет углеродных единиц. Это придает компаниям гибкость, поддерживает климатические проекты, но встречаются и ограничения по объему использования данных механизмов – например, ограничение объемов выбросов, которые могут быть погашены – 5-10% процентами от обязательств компаний в рамках квот.

В общем случае связи между реестрами различных кредитных механизмов не распространены. Конвертация возможна, но она предполагает признание стандартов (доверие к качеству климатических проектов). Например, можно конвертировать углеродные единицы проектного механизма Киотского протокола в единицы таких независимых механизмов, как Verra или Gold Standard. Одна из возможностей – погасить кредит в одном реестре и перевыпустить его в другом.

Далее в статье систематизирована информация о результатах деятельности стандартов, которая собрана из открытых источников в се-

ти интернет в виде документов, описывающие правила, принципы и требования стандартов. Документы добровольных углеродных рынков составлены на основе требований, изложенных в ISO 14064-2, ISO 14064-3 и ISO 14065. Основные типы этой документации отражены на **Рис.5**

1. Verified Carbon Standard (Verra)

Программа Verified Carbon Standard (VCS) представляет собой глобальный стандарт, созданный в 2005 году для проектов по сокращению выбросов и удалению парниковых газов.

Организациями, основавшими VCS, являются Климатическая группа, Международная ассоциация торговли выбросами и Всемирный совет предпринимателей по устойчивому развитию. 15 февраля 2018 года организация изменила свое название с Verified Carbon Standard на Verra.

Реестр Verra является краеугольным камнем реализации стандартов и программ Verra – это центральный репозиторий всей информации и документации, относящейся к проектам и агрегатам Verra, который обеспечивает уникальность проектов и кредитов в системе.

Любая организация, желающая зарегистрировать проекты или выдать, отменить или передать кредиты, должна иметь активную учетную запись Verra Registry.

В рамках Verified Carbon Standard:

- (a) реализовано 1900 проектов в 89 странах;
- (b) компенсировано более 1 миллиарда тонн выбросов углекислого газа. [10]

2. Gold Standard

Gold Standard был создан в 2003 году WWF для продвижения проектов, которые сокращают выбросы углерода и способствуют устойчивому развитию.

Направления деятельности Gold Standard:

(a) Продвижение экологических рынков. Высокоэффективные активы Стандарта – от углеродных кредитов до сертификатов возобновляемой энергии - позволяют стимулировать изменения, ускоряя прогресс в направлении Парижского соглашения и Целей устойчивого развития.

(b) Корпоративная устойчивость. Стандарт предоставляет компаниям управленческие рекомендации по сокращению выбросов, а также предоставлению отчетности воздействия на климатические цели.

(c) Финансирование устойчивого развития. Стандарт работает с принимающими странами

5. ОНУВ – определяемый на национальном уровне вклад в достижение целей Парижского соглашения.

6. Реестр был запущен 1 сентября 2022 г. Реестр – ключевой элемент для развития отрасли климатических проектов. С его помощью генерируемые проектами поглощения и сокращения выбросов парниковых газов превращаются в товар, для которого формируется рынок. Распоряжением Правительства РФ от 01.03.2022 N 367-р акционерное общество «Контур» определено Правительством РФ в качестве уполномоченного юридического лица, осуществляющего функции оператора реестра углеродных единиц.

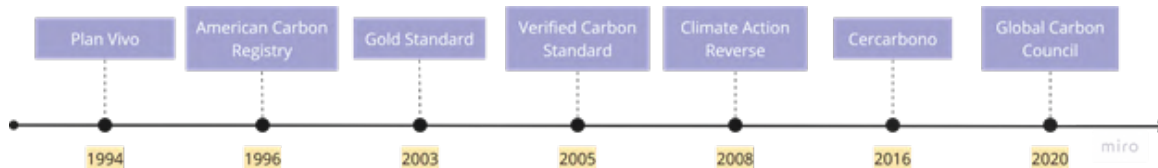


Рис. 4.
Годы основания добровольных углеродных стандартов

Документация углеродных стандартов состоит из разделов

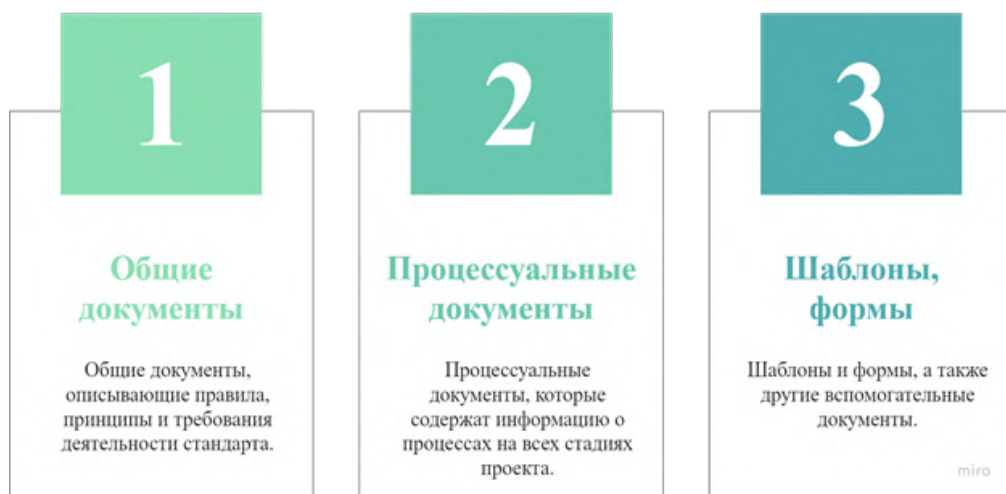


Рис. 5.
Основные типы документации углеродных стандартов

над созданием благоприятных условий для привлечения климатического финансирования и с инвесторами посредством предоставления прозрачной отчетности.

В рамках деятельности Gold Standard реализовано 2900 проектов в более чем 100 странах мира, создано 36 миллиардов долларов общей ценности для экологии и устойчивого развития, а также компенсировано 238 миллионов тонн выбросов углекислого газа. [13]

3. Climate Action Reverse

Climate Action Reserve (CAR) была основана в 2008 году. Это программа добровольных компенсаций выбросов в США, проекты которой реализуются в Северной Америке.

CAR устанавливает стандарты для количественной оценки и проверки проектов по сокращению выбросов парниковых газов, обеспечивает надзор за независимыми сторонними органами по проверке, а также выдает и отслеживает углеродные кредиты, называемые Climate Reserve Tonnes (CRT). [7]

Программа CAR по сокращению выбросов парниковых газов, включая протоколы для конкретных проектов и программу аккредитации и надзора за верификаторами, была утверждена в соответствии с Verified Carbon Standard.

4. American Carbon Registry

Американский углеродный реестр (ACR) был основан в 1996 году в рамках концепции рынка как наиболее эффективного инструмента для борьбы с изменением климата.

Классифицированная как добровольная офсетная программа и первая в своем роде в Соединенных Штатах, ACR разрабатывает свои собственные стандарты и методы для конкретных отраслей промышленности (лесное хозяйство, животноводство, связывание углерода, свалки).

ACR регистрирует проектные компенсации углерода со всего мира, хотя некоторые сектора и методологии в рамках Программы ACR предписывают региональные ограничения применимости.

Более 130 млн. тонн подтвержденного сокращения выбросов компенсировано на сегодняшний день из следующих проектов [8]:

- (a) Сельское хозяйство, землепользование и лесное хозяйство;
- (b) Промышленные процессы;
- (c) Эффективность транспортировки;
- (d) Энергетика (возобновляемые источники энергии и эффективность, переключение топлива).

5. Plan Vivo

Стандарт Plan Vivo представляет собой набор требований, используемых для сертификации

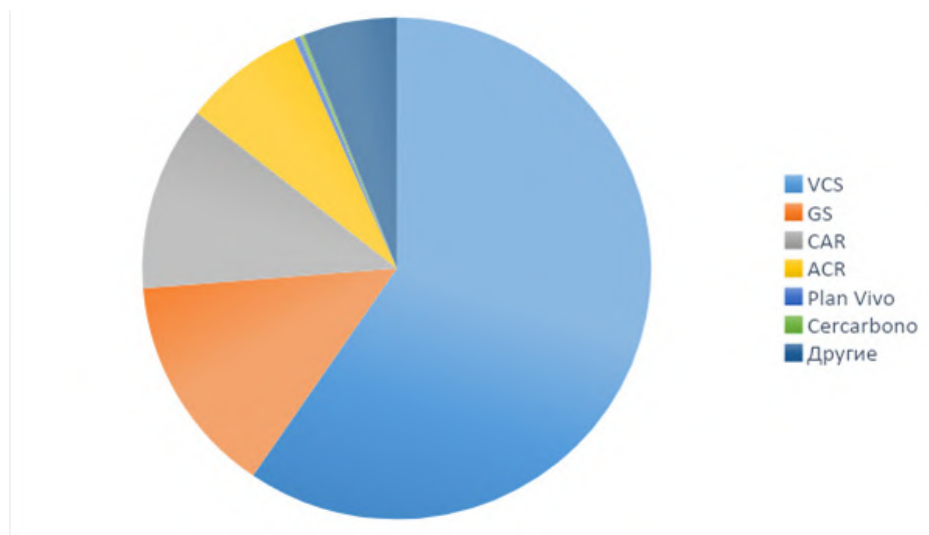


Рис. 7.
Доли стандартов на углеродном рынке по сокращению парниковых газов
(составлено авторами из открытых источников)

экологических проектов мелких фермеров. Это самый первый углеродный стандарт на добровольном углеродном рынке, который прошел через почти 30-летнюю эволюцию и обладает богатым опытом работы с мелкими фермерами и общинными проектами по восстановлению и защите лесов.

Стандарт берет свое начало в 1994 году в рамках проекта в штате Чьяпас, Мексика, начав работу по стимулированию лесовосстановления. За последние годы стандарт превратился в испытанную модель, которая применялась в 27 проектах в более чем 20 странах.

Результаты деятельности стандарта [12]:

- (a) Более 850 вовлеченных общин;
- (b) Компенсировано более 7 млн. тонн CO₂;
- (c) Посажено более 18 миллионов деревьев на территории в 265 тыс. га.

6. Cercarbono

Cercarbono — это стандарт с программой добровольной углеродной сертификации, миссия которого состоит в том, чтобы облегчить и гарантировать отдельным лицам, компаниям и общественности регистрацию программ или проектов по смягчению последствий изменения климата (ССМР), сертификацию выбросов и регистрацию полученных углеродных кредитов.

География проектов стандарта: Колумбия — 102, Бразилия — 20, Турция — 6, Боливия — 1, Гана — 1, Панама — 1, Чили — 1. [6]

Типы проектов:

- (a) Землепользование;
- (b) Энергетика;
- (c) Обращение с отходами и их утилизация;
- (d) Выбросы топлива;
- (e) Обработывающая промышленность.

7. Global Carbon Council

GCC — это первая добровольная программа компенсации выбросов углерода в регионе Ближнего Востока и Северной Африки (MENA) и инициатива Организации исследований и разработок стран Персидского залива (GORD).

Программа GCC сертифицирует проекты по сокращению выбросов парниковых газов со всего мира, но уделяет особое внимание низкоуглеродному развитию в регионе MENA, который в значительной степени остается недостаточно представленным на углеродных рынках. [9]

GCC уже предпринял несколько шагов в правильном направлении, чтобы адаптировать региональный добровольный углеродный рынок к региональным потребностям и особенностям, соблюдая при этом предстоящие международные торговые соглашения. В Саудовской Аравии Государственный инвестиционный фонд (PIF) и Саудовская фондовая биржа Tadāwul объявили о совместном плане по созданию в 2023 году в Эр-Рияде добровольной углеродной биржи для торговли проверенными, утвержденными и высококачественными сертификатами углеродных кредитов. В ОАЭ Глобальный рынок Абу-Даби (ADGM) объявил о создании добровольной биржи торговли углеродными квотами и расчетной палаты. В октябре 2022 года PIF и Tadāwul учредили добровольный субъект углеродного рынка, отвечающий за поиск и продажу на аукционах высококачественных углеродных зачетов. В рамках Финансово-инвестиционной инициативы, проведенной в Эр-Рияде, они продали с аукциона более 1 миллиона квот на выбросы углерода, которые соответствовали правилам Схемы компенсации и сокращения выбросов углерода для международной авиации (CORSA) и были

сертифицированы Verra. В начале 2023 года запущена внутренняя схема углеродных кредитов, которая будет выдавать кредиты в соответствии со статьей 6 Парижского соглашения.

Цели стандарта GCC:

(а) Обеспечить высокое качество документации, подготовленной владельцами проекта и представляемой в Программу GCC на протяжении всего проектного цикла;

(б) Описать конкретные требования, предъявляемые к владельцам проектов, которые намерены разрабатывать проекты GCC для сокращения выбросов парниковых газов, и подавать заявки на регистрацию и выдача углеродных кредитов (Approved Carbon Credits или ACCs) в рамках программы GCC.

Оценка вклада стандартов в общие усилия по снижению выбросов ПГ

В таблице 1 представлены сводные данные по вышеуказанным добровольным стандартам, а также основная информация по ним, включая данные по накопленному сокращению выбросов.

Доли стандартов на углеродном рынке по сокращению ПГ представлены на Рис.7. Как отмечалось ранее, на добровольном рынке доминируют четыре организации, обеспечивающие около 90% объема углеродных единиц.

В Латинской Америке реализуется наибольшее число климатических проектов, за ней следуют Азия и Африка, это отражено на Рис.8.

Добровольный углеродный рынок быстро растет во всем мире, при этом на США, Индию и Китай приходится наибольшее количество покупок углеродных единиц Рис.9.

В странах Европы и, особенно, в России количество климатических проектов, реализо-

ванных в рамках добровольных стандартов, значительно ниже, что рождает большой потенциал развития в этом регионе. Так, по данным нового Реестра углеродных единиц Российской Федерации на начало 2023 года в современной России зарегистрировано 4 климатических проекта, выпущено 86 углеродных единиц, и 439 464 углеродных единиц подлежат выпуску, т.е. находится на этапе верификации.

Обязательные углеродные рынки

Почти за 30 лет своего существования добровольный рынок создал углеродные схемы, стандарты и реестры, которые получили официальное признание. Сегодня страны обращаются к механизмам добровольного рынка, прежде всего, к добровольным углеродным стандартам и реестрам, используя их как основу для создания инструментов обязательного рынка или вместо них.

«Обязательный рынок углеродных единиц» – понятие, которым эксперты обозначают системы налогообложения промышленных предприятий за превышение целевых показателей выбросов CO₂. По замыслу Рамочной конвенции ООН по изменению климата углеродные единицы представляют собой разрешения их владельцам в определённый период времени или бессрочно производить выбросы такого количества газов, которое эквивалентно по своему парниковому эффекту одной тонне чистого углекислого газа.

Наиболее развитой считается практика Евросоюза (далее ЕС). Цена разрешений (allowances) на углеродном рынке ЕС выросла до уровня 105 евро в феврале 2023 года, на фоне растущих перспектив более высокой активности и спроса промышленных предприятий на разрешения. (Рис.6).

Таблица 1.

Сводные данные по действующим стандартам добровольных углеродных рынков (составлено авторами из открытых источников)

Стандарт	VCS	GS	CAR	ACR	Plan Vivo	CerCarbono	GCC
Тип	Международный	Международный	Региональный	Региональный	Международный	Региональный	Региональный
Сайт	https://verra.org/programs/verified-carbon-standard/	https://www.goldstandard.org/	https://www.climateactionreserve.org/	https://americancarbo.nregistry.org/	https://www.planvivo.org/	https://cercarbono.com/	https://www.globalcarboncouncil.com/
Штаб-квартира	Вашингтон	Женева	Лос-Анджелес, Калифорния	Норт-Литл-Рок, штат Арканзас	Эдинбург, Шотландия	-	Доха, Катар
Директор	Давид Антониоли	Иво де Бур	Крейг Эберт	Мэри Грэнли	Кейт Бохэммон	Карлос Труэльо	Юсуф Аль Хор
Год основания	2005	2003	2008	1996	1994	2016	2020
Сокращение выбросов CO ₂ -эквивалент, млн. тн.	Более 1000	Более 238	Более 200	Более 130	Более 7,0	Более 4,1	нет данных
Разнообразие проектов	Высокое	Высокое	Высокое	С/х, энергетика, производство, транспортировка	Лесные, с/х	С/х, энергетика, отходы	Высокое
География проектов	По всему миру	По всему миру	США, Мексика	Большинство в Северной и Южной Америке	Южное полушарие	Южная Америка, Гана, Турция	Ближний Восток и Северная Африка

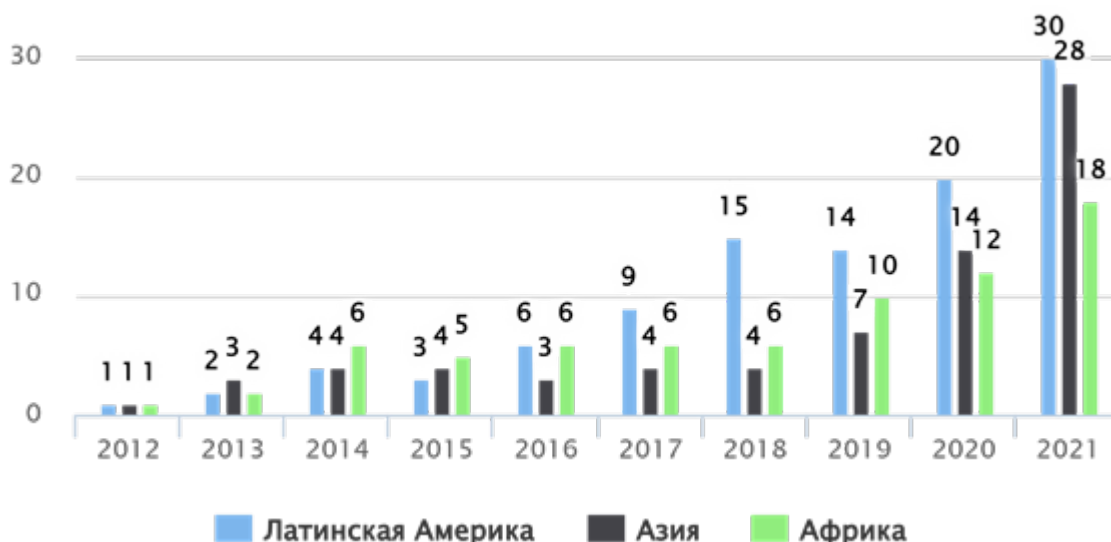


Рис. 8. Динамика роста количества климатических проектов, % (составлено авторами, источник: Berkeley Carbon Trading Project; Voluntary Registry Offsets Database)

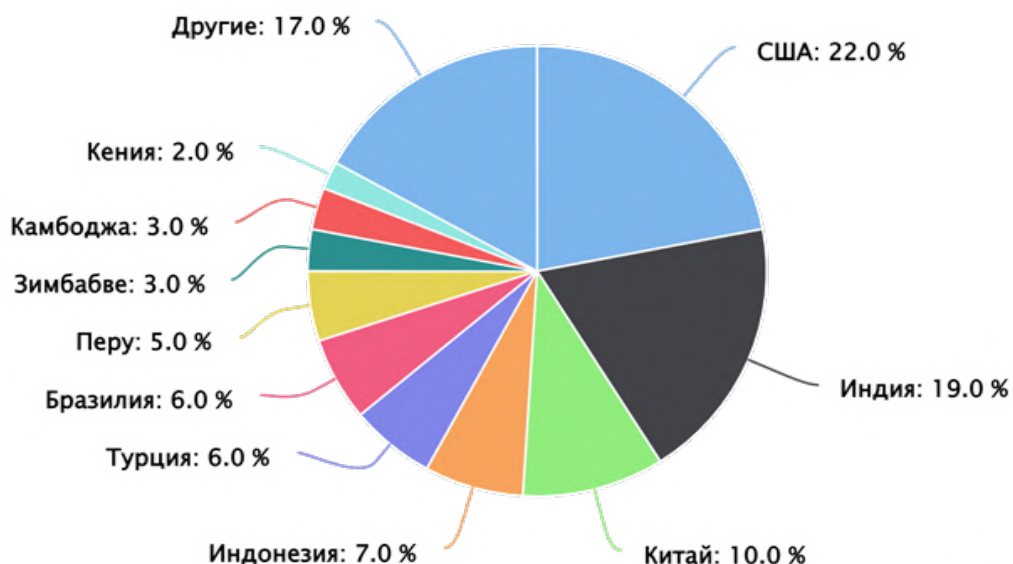


Рис. 9. Распределение покупательской активности углеродных единиц по странам (источник: Проекты, зарегистрированные в VCS, GS, ACR, CAR)

Страны ЕС утвердили 21 февраля 2023 года планы по привлечению 20 миллиардов евро в виде грантов на углеродном рынке ЕС, отчасти на покупку разрешений на выбросы углерода. Страны смогут потратить гранты на возобновляемые источники энергии и энергосберегающий ремонт, чтобы помочь заменить российский газ, а также на проекты по декарбонизации тяжелой промышленности. Система торговли выбросами Европейского Союза (ETS) обязывает производителей, энергетические компании и авиакомпании платить за каждую тонну выбрасываемого ими углекислого газа в рамках усилий Европы по достижению своих климатических целей.

Основные предпосылки и драйверы развития климатической повестки в России

Основным фактором инициирования в России процесса формирования системы ограничения выбросов парниковых газов стали планы Европейского союза ввести систему трансграничного углеродного регулирования (пограничный механизм коррекции содержания углерода), который бы уравнивал положение локальных производителей, подпадающих под действие ETS, и импортеров. Будучи введенным на одном из основных экспортных рынков для России такой механизм неизбежно бы нанёс существенный ущерб российским



Рис. 6.
Цена разрешений на углеродном рынке ЕС, EU Carbon Permits (EUR)
(по данным <https://tradingeconomics.com/commodity/carbon>)

производителям металлов и соответствующей продукции, цемента, удобрений и т.д.

Однако в условиях неопределенности в России процесс формирования системы государственного регулирования выбросов ПГ замедлился. Тем не менее, международный опыт деятельности углеродных рынков подтверждает возможность запуска добровольного углеродного рынка в России.

Для регионов России, обладающих большими площадями экосистем, участвующих в поглощении, консервации углерода, эта форма вовлечения окружающей среды в экономику регионов поможет оживить вовлечение муниципалитетов, бизнес-сообщества, неправительственных общественных организаций, местных сообществ и т.д. в экономические процессы через организацию климатических проектов.

Нормативные основы климатической политики России

Основой климатической политики России стали нормативные акты, программные документы и стратегии, принимаемые с учетом опыта и потенциала международного климатического сотрудничества, договоренностей о таком сотрудничестве с иностранными партнерами, общей политической и экологической ситуации в России и мире.

Международное экологическое сотрудничество, в частности взаимодействие по вопросам климата, велось Россией со многими иностранными партнерами, однако наибольший уровень сотрудничества наблюдался с Европейским союзом. Было принято Положение о формировании Диалога по окружающей среде между министерством природных ресурсов и экологии России и Генеральным директоратом по окружающей

среде Европейской комиссии, разработаны и превращены в жизнь различные программы (например, по приграничному сотрудничеству), а также осуществлялось финансирование экологических проектов в рамках Европейского инструмента соседства и партнерства (ENPI). Стоит отметить, что климатическое сотрудничество и климатическая политика оставались незатронутыми охлаждением отношений между Россией и Западом в 2014 г., однако после февраля 2022 г. ситуация изменилась. Санкции западных стран сделали невозможным реализацию многих совместных климатических проектов, что, в свою очередь, привело к необходимости для России пересмотреть свою климатическую политику и, в частности, скорректировать ее нормативную основу. Специальный представитель президента Российской Федерации по вопросам климата Р. Эдельгериев отметил, что «государству также необходимо адаптироваться к изменившейся среде».

В настоящий момент нормативно-правовая база климатической политики России еще формируется. Несмотря на развитое экологическое законодательство, начало климатического законодательства было заложено Указом Президента РФ от 04.11.2020 №666 «О сокращении выбросов парниковых газов», принятый в целях реализации Российской Федерацией Парижского соглашения от 12.12.2015. Данный нормативный акт закрепил первый ОНУВ страны в виде предписания Правительству РФ обеспечить к 2030 г. сокращение выбросов парниковых газов до 70% относительно уровня 1990 г. с учетом максимально возможной поглощающей способности лесов и иных экосистем и при условии устойчивого и сбалансированного социально-экономического развития Российской Федерации.

В 2021 году был принят ФЗ-296 Федеральный закон «Об ограничении выбросов парниковых газов». В 2022 г. в России стартовал первый региональный эксперимент по квотированию выбросов парниковых газов с целью добиться углеродной нейтральности в отдельном регионе до конца 2025 года и федеральное законодательство пополнилось еще одним законом – «О проведении эксперимента по ограничению выбросов парниковых газов в отдельных субъектах Российской Федерации» 34-ФЗ.

Вопрос о государственном регулировании выбросов парниковых газов затронут и в отраслевых стратегиях, таких как Транспортная стратегия, Стратегия развития лесного комплекса, Стратегия экологической безопасности.

Что касается документов стратегического планирования, то на настоящий момент главным из них в сфере контроля за выбросами парниковых газов в атмосферу является Стратегия социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 г., подготовленная и утвержденная Правительством во исполнение Указа Президента «О сокращении выбросов парниковых газов» и в целях реализации обязательств по Парижскому соглашению. Главной целью Стратегии является достижение углеродной нейтральности к 2060 г. Документ предусматривает два сценария развития: инерционный, предусматривающий реализацию лишь уже принятых решений в рамках отраслевых актов планирования, и целевой (интенсивный), взятый за основу и предполагающий принятие дополнительных мер по сокращению карбонизации экономики.

В начале февраля 2022 г. Министерством экономического развития был подготовлен проект плана реализации Стратегии социально-экономического развития России с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 г. План, содержащий регуляторные меры для увеличения темпов декарбонизации экономики (к примеру, налоговые меры), рассматривался как более амбициозный, чем сама Стратегия.

В июле 2022 г. Российский союз промышленников и предпринимателей (РСПП) обратился к Правительству с просьбой отсрочить принятие плана реализации Стратегии до первого квартала 2023 г. Такое решение было объяснено возникшими в связи с санкциями затруднениями в закупке «зеленого» оборудования и доступе к низкоуглеродным технологиям.

В дальнейшем в феврале 2023 г. глава РСПП А. Шохин отметил, что необходимо доработать план с учетом изменившихся политических обстоятельств. При завершении работы над планом, по его мнению, следует учесть закрытие западных рынков, критически оценить поставленные цели по декарбонизации и, возможно, вовсе отойти от западных подходов и стандартов в климатической повестке. И. Торосов также заявил, что санкции вынуждают власти вносить корректировки в план реализации Стратегии.

План будет пересмотрен в целях снижения негативного воздействия санкций на переход к низкоуглеродной экономике в России, и изменения коснутся вопросов финансирования экологических проектов, перехода от западных инвестиций к инвестициям из стран-партнеров и национальным инвестициям, в частности про-

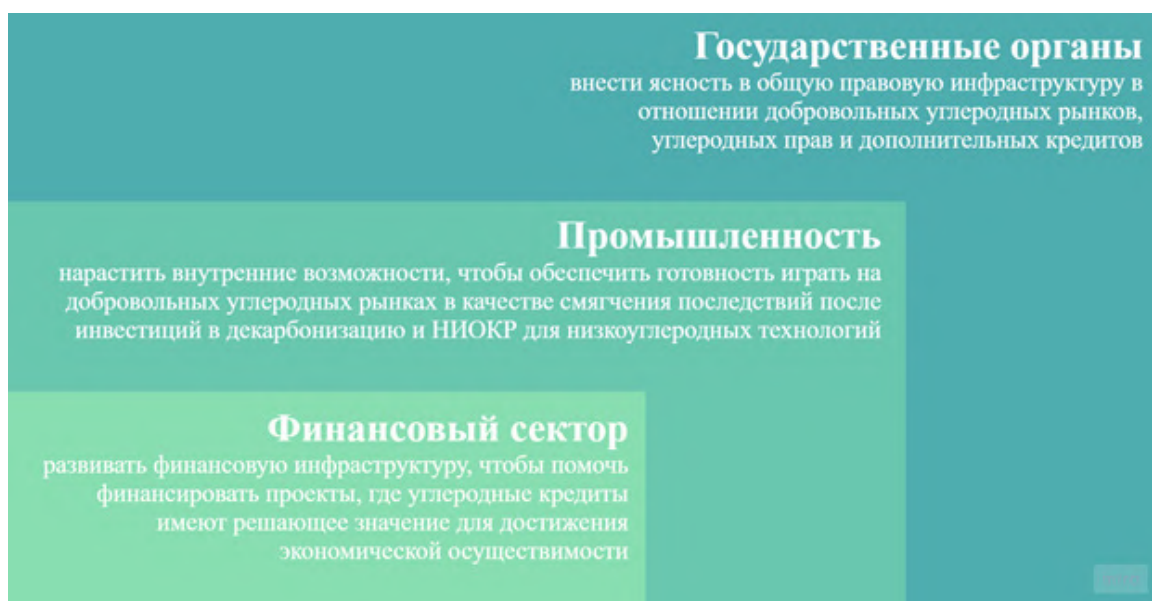


Рис. 10.
Основные шаги для развития углеродного рынка России

рабатывается вопрос о привлечении китайских и арабских инвесторов.

Необходимо отметить, что в нормативно-правовом регулировании, несмотря на санкционное давление, появились и новые акты, развивающие и способствующие реализации климатической политики страны. К примеру, в июне 2022 г. Постановлением Правительства № 455 были утверждены Правила верификации результатов реализации климатических проектов, содержавшие необходимые критерии оценки. Эти Правила стали следующим витком в развитии климатической политики России, продемонстрировавшим приверженность страны к осуществлению экологических проектов.

Россия, несмотря на санкционное давление западных стран, сохраняет свою приверженность целям достижения углеродной нейтральности и планирует и далее развивать, и претворять в жизнь климатическую политику. При этом нормативные основы данной политики не могли не остаться незатронутыми санкциями. Парижское соглашение, стороной которого является Россия, останется для страны в силе. Однако некоторые внутренние национальные акты претерпели изменения. Некоторые акты принимались с задержкой, а планируемые проекты растягивались на более длительный срок, чем предполагалось изначально. В сфере поставок «зеленого» оборудования и финансирования проектов по декарбонизации произошел вынужденный отказ от западных инвестиций в пользу финансовых вложений из дружественных для России государств. При этом некоторые новые нормативные документы были выпущены несмотря на санкции, что еще раз демонстриру-

ет стремление России следовать общемировой тенденции по декарбонизации.

На данный момент, у всех участников углеродного рынка есть возможность совершенствовать свою деятельность по достижению углеродной нейтральности. По мере того как глобальная политика становится все более заметной и сложной, заинтересованные стороны, такие как государственные органы, промышленность и финансовый сектор, могут предпринять следующие шаги, чтобы занять более выгодное положение на рынке, **Рис.10.**



Рис. 11. Добровольный рынок углеродных единиц

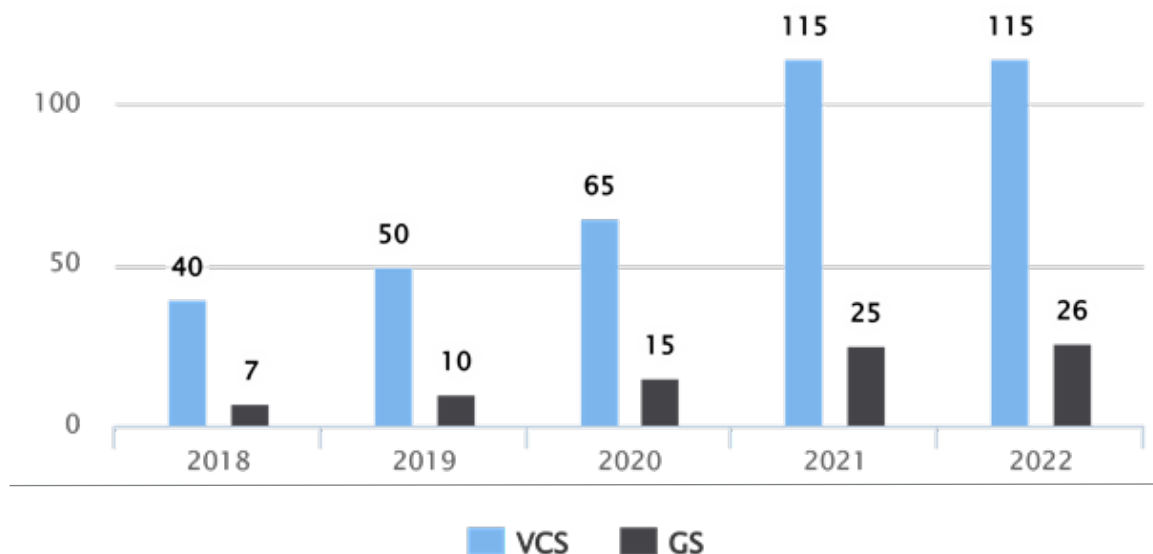


Рис. 12. Рост углеродных единиц остановился в 2022 году (составлено авторами, источник: VCS и Gold Standard)

Закключение

Добровольное использование углеродных единиц для ускорения действий по препятствованию изменению климата оправдано, так как единого подхода к решению проблемы изменения климата не существует, и каждая инициатива вносит свой вклад в общее дело.

По данным Trove Research, **Рис.11**, первичный рынок добровольных углеродных единиц может увеличиться на целых 40% до примерно 1,9 млрд. долларов в 2023 году, если предположить, что цены и спрос продолжают расти такими же темпами, как в последнее время. Выплаты по кредитам в 2022 году составили 173 миллиона долларов, что на 2% больше, чем в предыдущем году. Средневзвешенная цена всех единиц, заключенных в 2022 году, составила 8,80 доллара за тонну, что на 40% больше, чем в среднем 6,30 доллара в 2021 году.

Углеродный рынок находится в переломном моменте: либо неопределенность будет устранена путем сотрудничества участников и регулирующих органов, что приведет к еще большему росту, либо развитие рынков потеряет импульс из-за плохой согласованности и несоответствия стандартов. Эта угроза может заставить многих потенциальных покупателей отложить приобретение и использование углеродных единиц

в ожидании большей ясности о перспективах данного рынка и признания единиц. К сожалению, признаки этой тенденции заметны уже в 2022 году: по данным VCS и GS рост углеродных кредитов практически остановился, что можно увидеть на **Рис.12**.

Углеродный рынок в 2023 году будет формировать несколько все более важных тенденций, каждая из которых может укрепить рынки, повысить целостность и помочь нарастить масштабы. Но по мере того, как ставки становятся выше, создаются угрозы путаницы, разногласий и фрагментации.

Заявления об углеродной нейтральности все еще широко распространены, но часто неясно, относится ли это к сокращению и компенсации прямых выбросов или включает также и косвенные выбросы по всей цепочке жизненного цикла товара. Часто неясно, какой тип углеродных единиц рассматривается и какой их уровень качества?

Учитывая это, разные компании могут предъявлять одинаковые требования в отношении совершенно разных подходов к взаимозачету и формированию стоимости углеродных единиц. Рынку России придется работать над достижением консенсуса по стандартизации добровольных требований. **XXI**

Литература

1. ГОСТ Р ИСО 14080-2021. УПРАВЛЕНИЕ ПАРНИКОВЫМИ ГАЗАМИ И СВЯЗАННЫЕ ВИДЫ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ. Система подходов и методическое обеспечение реализации климатических проектов. - Москва: Российский институт стандартизации - 2021 - 33 с.
2. Жильцов С.С. Климатическая повестка: проблемы и новые вызовы. Вестник Дипломатической академии МИД России. Россия и мир - 2023. С. 38-61
3. Климатическая политика России в условиях санкций: нормативно-правовой аспект [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://news.myseldon.com/ru/news/index/281061240>
4. Последние данные о ценах на углерод ETS в ЕС и Великобритании [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://ember-climate.org/data/data-tools/carbon-price-viewer/>
5. Сафонов Г.В. Перспективы декарбонизации мировой экономики в контексте реализации Парижского климатического соглашения ООН / Г.В. Сафонов, М.Л. Козельцев, А.В. Стеценко, А.Л. Дорина, Ю.А. Сафонова, А.А. Семакина, А.Г. Сизонов, М.Г. Сафонов // Вестник международных организаций, 2022 - № 4 С. 38-61
6. Cercarbono – Certified Carbon Standard [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://cercarbono.com/>
7. Protocols – Climate Action Reserve [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://climateactionreserve.org/>
8. Homepage – American Carbon Registry [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://americancarbonregistry.org/>
9. Home – Global Carbon Council [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://www.globalcarboncouncil.com/>
10. Home - Verra [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://verra.org/>
11. ICR requirement document v4.0 [Электронный ресурс] - 2022 - 28 с. - Режим доступа: <https://carbonregistry.com/wp-content/uploads/2022/10/ICR-Requirement-Docum>
12. Plan Vivo Foundation – For Nature, Climate and Communities [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://www.planvivo.org/>
13. The Gold Standard [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://www.goldstandard.org/>
14. VCS Program Guide v4.3 [Электронный ресурс] - 2023 - 20 с. - Режим доступа: <https://verra.org/wp-content/uploads/2022/12/VC>

UDC: 338.24

D.N. Reshetnyak, manager of the Department of Carbon Management, Rosneft Oil Company PJSC, DN_Reshetnyak@rosneft.ru
V.Yu. Mohunov, Head of Sector of Technologies for sustainable development, AETC «Sapphire», LLC, v.mohunov@aetc-spb.ru
N.I. Gulyi, Chief Specialist of Sector of Technologies for sustainable development, AETC «Sapphire», LLC, n.gulyi@aetc-spb.ru
S.S. Steniakin, student of St. Petersburg Mining University, s.steniakin@gmail.com

LEADING STANDARDS OF VOLUNTARY CARBON MARKETS FOR APPLICATION IN RUSSIA

Abstract: The article includes an overview of the leading global, national and regional standards that are used in voluntary carbon markets. The article examines the mechanisms of functioning of voluntary carbon markets, the principles that determine their work, the requirements and guidelines that are their basis. The study systematizes information on the performance of the standards, compares quantitative effects, and evaluates the contribution to the overall efforts to reduce the harm of greenhouse gas emissions. There are the main prerequisites and drivers for the development of the climate agenda in Russia, and the reasons that hinder the organization of a voluntary and regulated carbon market in Russia.

Keywords: carbon market, greenhouse gas, climate project, carbon unit, carbon standard, decarbonization, low-carbon development.

Хроника законодательной работы

Развитие геологоразведки ускорит импортозамещение дефицитного сырья

22 мая Комитет Государственной Думы по экологии, природным ресурсам и охране окружающей среды провел экспертный совет на тему повышения эффективности геологоразведочных работ по твердым полезным ископаемым. В современных условиях это крайне важный вопрос: главой государства поставлена задача по ускоренному импортозамещению дефицитного сырья.

Совершенствование законодательной и нормативной базы, снижение административных барьеров, создание благоприятной почвы для инвестиций в геологоразведку, масштабирование успешного опыта, подготовка кадров для отрасли – об этом делали свои доклады и вносили конкретные предложения участники экспертного совета – профильные министерства и ведомства, добывающие компании, вузы.

«Впервые за 26 лет актуализирован перечень номенклатуры стратегического сырья – он вырос с 29 до 55 пунктов. Сформирован перечень видов сырья, которые необходимы государству – это 17 позиций, и по пяти из них мы имеем 100-процентную зависимость. Соответственно, федеральные средства на эту номенклатуру получили приоритетный статус.

Наша страна по черным, цветным, редким и драгоценным металлам обеспечена геологическими запасами на десятилетия, и это наше конкурентное преимущество перед другими экономически развитыми странами. Одновременно мы понимаем, что затраты на геологоразведку будут расти: в поисках новых месторождений мы углубляемся в Арктику, на Дальний Восток.

Сейчас растет мировой спрос на металлы так называемой «новой экономики», например, лития, что диктует необходимость подготовки и реализации новых проектов, которые должны отвечать современным экономическим реалиям и быть рентабельными. Для них уже подготовлена почва, в том числе по налогам и льготам. Есть первые результаты. Так, из-за завышенных требований для двух крупнейших месторождений лития на Кольском полуострове не могли найти инвесторов: сейчас началась их разработка. Добыча здесь закроет существенную долю потребностей страны в литии.

В прошлом году мы приняли важный системный закон по отходам недропользования. В его реализации заложен большой потенциал, в том числе по сырью из дефицитной группы. Сейчас Минприроды готовит нормативную базу под этот закон – держим на контроле, планируем осенью встречу по результатам работы.

Показал свою эффективность заявительный порядок выдачи поисковых лицензий. Эксперимент мы начинали в Минприроды в 2019 году с отдельных территорий – в Арктике, на Дальнем Востоке и в Иркутской области. Теперь этот успешный опыт масштабирован на весь Сибирский федеральный округ.

Большая работа проделана по снижению административных барьеров. По ряду направлений лицензионно-разрешительной деятельности сроки оформления снижены в разы, в том числе за счет цифровизации» - отметил председатель Комитета Дмитрий Николаевич Кобылкин.

Комитетом будут учтены озвученные на экспертном совете предложения по дополнительной поддержке геологоразведочной отрасли.

28 июня Госдума приняла закон о мониторинге вечной мерзлоты

Система государственного фонового мониторинга состояния многолетней мерзлоты в полном объеме развернется до конца 2025 года и будет состоять из 140 наблюдательных пунктов на базе Росгидромета: от Кольского полуострова до Чукотки и до южной границы России в Туве и Алтайском крае. Это скважины глубиной до 30 метров с измерительным оборудованием и каналами связи с непрерывной автоматической фиксацией температуры мерзлоты на нескольких горизонтах. Также на базе Арктического и антарктического научно-исследовательского института будет создан единый центр сбора и обработки данных с информационным ресурсом, доступным всем заинтересованным организациям.

«Сегодня сделан очень важный шаг для обеспечения устойчивости развития арктических регионов и успешной реализации планов по освоению Арктической зоны России.

Многолетнемерзлые грунты занимают более 65% площади страны. Изменение их состояния создает риски для экономики, особенно в Арктической зоне, где 85% территории относится к областям сплошного распространения мерзлоты. Учеными выявлена практически повсеместная деградация криолитозоны с нарастающей динамикой: за последние пять лет скорость процессов возросла вдвое.

Перед системой мониторинга ставится задача своевременно фиксировать текущие изменения и анализировать их, способствовать оперативному принятию решений и предупреждать аварийные ситуации – в жилом и промышленном секторах», – отметил в своём выступлении председатель Комитета Дмитрий Николаевич Кобылкин.

Поправки к закону «О недрах» прекратят практику «спящих» лицензий на геологоразведку

12 июля соответствующий законопроект, внесенный Правительством РФ, Комитет рекомендовал к первому чтению.

На сегодняшний день срок лицензии на геологическое изучение недр составляет 5 лет. Для отдельных регионов и шельфа – 7 и 10 лет соответственно. Это значительные и достаточные сроки, но при этом по действующему законодательству предусмотрено продление лицензии для завершения работ. Этим пользуются некоторые недропользователи – геологоразведочные работы затягиваются, и появляются так называемые «спящие» лицензии: их владельцы продляют сроки, уплачивая незначительный платеж за пользование недрами.

С целью пресечения этой практики законопроектом предлагается после истечения планового срока лицензиикратно увеличить размер ставки для ее продления: первый год – в 2 раза, второй год – в 10 раз, третий и последующий годы – в 100 раз.

При этом предусмотрен механизм защиты для добросовестных недропользователей – если геологоразведка затянулась по объективным причинам производится вычет затрат на проведение работ.

Комитет считает целесообразным перенести сроки вступления в силу данного законопроекта в случае его принятия на 1 сентября 2024 года, а по углеводородному сырью на 1 сентября 2026 года – дополнительная финансовая нагрузка для компаний в условиях санкций нецелесообразна. Увеличение сроков геологоразведки может быть связано с дефицитом финансирования, с недоступностью технологий, и рядом других причин. Также необходимо установить механизм учета обстоятельств, которые препятствуют проведению работ на участке недр.

В ходе обсуждения законопроекта поступило предложение расширить его нормы и на общераспространенные полезные ископаемые. Минприроды идею поддержало и планирует представить свое видение вопроса ко второму чтению.

18 июля Комитет рекомендовал ко второму чтению законопроект по совершенствованию системы ликвидации объектов накопленного вреда

Сейчас в России находится порядка 2000 объектов накопленного вреда, подлежащих рекультивации и ликвидации. За ближайшие несколько лет привести в нормативное состояние каждый из них невозможно, поэтому поправки в ФЗ «Об охране окружающей среды» и ряд других законодательных актов устанавливают четкие правила, как оценивается объект, по каким критериям, и что является приоритетным. Также вводится дополнительная ответственность и передача полномочий регионам и муниципалитетам по выявлению соответствующих объектов.

Кратко о некоторых моментах законопроекта:

- организация работ муниципалитетами будет проводиться в пределах бюджетных ассигнований;
- устанавливаются критерии оценки объекта накопленного вреда;
- без положительного заключения Росприроднадзора ликвидация объекта проходить не будет;
- любые изменения и поправки подлежат дополнительной экологической экспертизе и общественным обсуждениям.

Также сегодня на заседании Комитета обсудили ситуацию на законсервированной угольной шахте в поселке Сангар в Якутии.

Эндогенный пожар здесь длится уже более 20 лет. Это влияет на проседание почвы, вечную мерзлоту и несёт угрозу обвала грунта на территории близлежащих домов. Долгое время вопрос не решается из-за отсутствия ответственных за этот участок.

Договорились, что ситуацию необходимо дополнительно проработать и предложить пути решения.

В России появится единая комплексная система мониторинга окружающей среды

19 июля Комитет рекомендовал соответствующий законопроект к рассмотрению Госдумой во втором и третьем чтениях.

Федеральная информационная система мониторинга окружающей среды будет внедрена во всех регионах России для осуществления контроля состояния выбросов и загрязнений и дальнейшего принятия мер по их устранению. Она включит в себя 16 подсистем, проводящих оценку состояния воздуха, воды и почвы. Также в режиме реального времени будет отображаться, что происходит на конкретной территории.

Ключевые моменты законопроекта в текущей редакции представил на заседании зампреда Комитета Александр Коган:

- главная задача такой системы – оценка состояния окружающей среды и прогнозирование;
- внесена информация, какие природопользователи являются пользователями системы;
- данные о состоянии окружающей среды будут передаваться в единую систему для принятия дальнейших мер по минимизации угроз;
- при наличии рисков органы муниципалитетов и региональной власти должны принимать решения и нести ответственность;
- Правительство наделяется полномочиями определения межведомственного взаимодействия.

Материал подготовил специальный корреспондент журнала в Госдуме РФ С.Е. Матвейчук



Дадыкин В.С.
 д-р экон. наук, доцент
 ФГБОУ ВО «Брянский государственный
 технический университет»
 профессор кафедры «Цифровая экономика»
 dadykin88@bk.ru



Дадыкина О.В.
 д-р экон. наук, доцент
 ФГБОУ ВО «Брянский государственный
 технический университет»
 доцент кафедры «Цифровая экономика»
 atamanova_281287@mail.ru



Язвенко Н.А.
 ФГБОУ ВО «Брянский государственный
 технический университет», ассистент
 кафедры «Цифровая экономика»
 nikolayyazvenko@mail.ru

МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РАНЖИРОВАНИЯ УЧАСТКОВ НЕДР ПО ПЕРСПЕКТИВНОСТИ НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ

В настоящее время в условиях необходимости финансирования работ по воспроизводству минерально-сырьевой базы со стороны государства, в особенности в части выявления прогнозных ресурсов, а в ряде случаев и до категории запасов C_2 , остро стоит необходимость в разработке методики ранжирования участков недр по перспективности. Как правило, в подобных ситуациях необходимо учитывать количественные и качественные оценки участков недр. При этом доля количественных оценок, как правило, ниже на ранних стадиях работы с перспективным объектом недр. В то же время преобладающие качественные оценки содержат, как правило, несколько экспертных мнений, которые достаточно сложно одновременно учитывать и применять в тандеме с количественными оценками. В подобных ситуациях применение моделей нечеткой логики позволит формализовать и автоматизировать расчет интегральной оценки участков недр для целей их ранжирования. Поэтому цель данной работы состоит в выработке методических аспектов ранжирования участков недр по перспективности на основе применения нечеткой логики.

Ключевые слова: ранжирование участков недр, нечеткая логика, оценка перспективности, интегральная оценка.

В настоящее время аппарат нечеткой логики находит практическое применение в различных сферах деятельности, в том числе в сфере геологии и недропользования. Специфика деятельности в данном случае состоит в том, что на ранних стадиях проведения поисковых работ применяется экспертная оценка перспективности участков недр, поэтому возникает необходимость в применении специальных подходов к оценке и ранжированию участков недр [1]. Применение количественных оценок для оценки перспективности участков недр позволило бы выполнить ранжирование и отбраковку объектов с низким уровнем количественной оценки, но использование качественных оценок позволяет в процессе оценки учесть так называемые «нечеткие» оценки, которые могут быть выражены высоким, средним и низким уровнем перспективности объекта недр [4]. С математической точки зрения, данная оценка может быть выражена функцией принадлежности к одному из множеств с четко фиксированными границами.

В данной работе в качестве примера для рассмотрения методических аспектов используется информация по твердым полезным ископаемым [2]. В настоящее время в условиях необходимости финансирования работ по воспроизводству минерально-сырьевой базы со стороны государства, в особенности в части выявления прогнозных ресурсов, а в ряде случаев и до категории запасов C_2 , остро стоит необходимость в разработке методики ранжирования участков недр по перспективности.

Нами предлагается разработать методические аспекты по выработке общих критериев оценки участков недр и внесению данных оценок в единую систему, построенную на основе базы знаний. Прежде всего необходимо определиться с совокупностью критериев, которые необходимо включить в модель, и по которым необходимо выполнять ранжирование. Всю совокупность критериев, которые возможно использовать на ранних стадиях проведения работ по оценке перспективности можно разделить на 2 группы:

1. Критерии природных конкурентных качеств объекта недр;

2. Критерии региональных условий местоположения объекта недр.

Далее необходимо по каждой группе определить конкретные показатели, по которым будет выполняться сопоставление объектов недр. По первой группе, это показатели:

1.1. размерности объекта недр по сумме геологических запасов (если они выявлены) или прогнозных ресурсов соответственно по категориям;

1.2. возможности прироста запасов за счет прогнозных ресурсов;

1.3. природного качества сырья по содержанию полезных компонентов (или обогатимости сырья в зависимости от вида);

1.4. потребительских качеств сырья по возможному использованию;

1.5. глубины залегания тела полезного ископаемого или способ отработки;

1.6. горнотехнических условий объекта.

По второй группе критериев предлагается включить в состав модели показатели:

2.1. удаленности от транспортных магистралей, населенных пунктов, объектов инфраструктуры в километрах;

2.2. удаленности от основных территориальных сегментов рынка, зон сбыта сырья, в км;

2.3. физико-географических условий по природным зонам;

2.4. оценки экологической обстановки;

2.5. рейтинга инвестиционного климата субъекта федерации;

2.6. рейтинга по индикаторам социально-экономической обстановки (уровень безработицы, уровень доходов по субъектам федерации и т.д.).

В части показателя 1.2 необходимо отметить, что прогнозные ресурсы необходимо при сравнительной оценке учитывать в одних и тех же категориях, и единицах измерения, а для приведения их к одной категории, например, P_1 , использовать соотношения (таблица 1).

Для организации процедуры нечеткого вывода в системе предлагается использовать про-

Таблица 1.
Приведение категорий прогнозных ресурсов

Категории прогнозных ресурсов и запасов	Коэффициенты перехода к запасам промышленных категорий		
	минимальные	средние	максимальные
P_3	0,03	0,07	0,2
P_2	0,36	0,4	0,5
P_1	0,7	0,75	0,8
Забалансовые	0,8	0,85	0,90
C_2	0,9	0,92	0,95

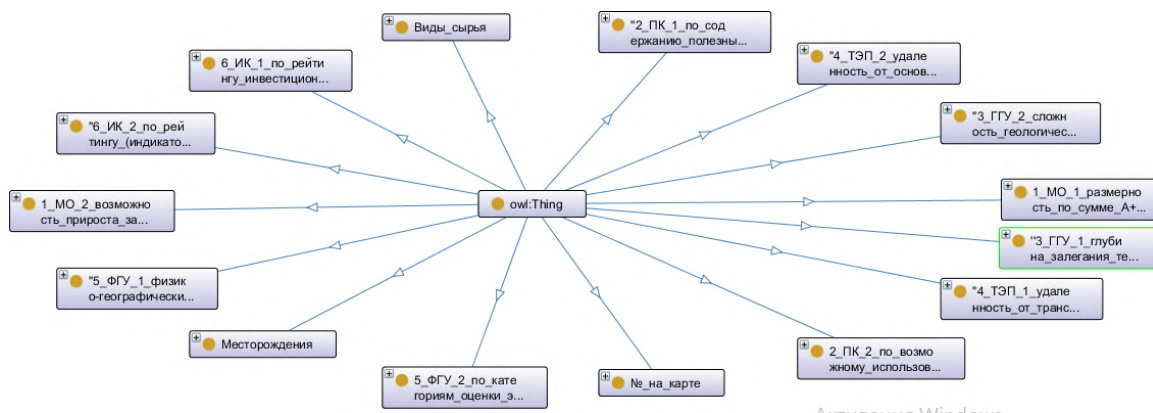


Рис. 1. Онтологическая модель системы интегральной оценки перспективности

граммный продукт Matlab с компонентом *Fuzzy logic*. За основу возьмем метод Мамдани, реализованный в данном программном продукте. Для получения более гибкой оценки в рамках нечеткого вывода будем использовать 5 различных вариантов оценки перспективности объектов недр: очень высокая (ОВ), высокая (В), средняя (С), низкая (Н) и очень низкая (ОН). Таким образом, общая максимальная сумма баллов 100 разбивается на равные интервалы по 20 единиц.

С целью реализации методики нам потребуется ввести в компонент *Fuzzy logic* набор ассоциативных правил, которые описывают различные варианты экспертной оценки участков недр. В данном случае, если используется 5 вариантов оценки перспективности количество возможных сочетаний экспертных оценок для трех экспертов составляет 243 ($3^5=243$). Следует отметить, что для получения интегральной оценки производственные правила должны быть непротиворечивыми и охватывать все возможные варианты оценки. Онтологическая модель системы оценки представлена на **рисунке 1**.

Важным элементом визуализации результатов моделирования является применение модели Куба. В результате выставления экспертных оценок на каждой из граней Куба возможно провести ранжирование результатов (**рис. 2**).

При объединении нескольких измерений в Категории оценки ранжирование результатов выглядит следующим образом (**рис. 3**).

В ячейках Куба указываются номера месторождений на карте. Объекты, имеющие интегральную оценку «ОН» и «Н» исключаются из рассмотрения как низко перспективные в текущей ситуации оценки.

Из мнений экспертов по функциям принадлежности в виде нормального распределения с максимальным значением 100 формировалась по алгоритму Мамдани итоговые оценки по каждому подразделу [5]. На основании оценок по

А	ОВ	В	С
Б	В	С	Н
В	С	Н	ОН
	А	Б	В

Рис. 2. Ранжирование результатов экспертной оценки по двум измерениям в составе одной Категории модели «Куб»

А	С	В	ОВ	ОВ	В	С
Б	Н	С	В	В	С	Н
В	ОН	Н	С	С	Н	ОН
	В	Б	А	А	Б	В

Рис. 3. Ранжирование результатов экспертной оценки на пересечении 2-х смежных граней в модели «Куб»

всем разделам формировалась средняя оценка по разделу в целом.

В результате применения данной методики удалось выполнить агрегированную оценку участков недр на территории Брянской области по данным геологических отчетов за период 2010-2020г. Участки недр, которые впоследствии были признаны перспективными, были введены в модель с их экспертными оценками за период проведения работ. Анализ функции принадлежности показывает вхождение перспективных участков недр в интервал оценки В (высокая) и ОВ (очень высокая) (**табл. 2**).

Таблица 2.
 Результат оценки перспективности участков недр (фрагмент)

№	Условное обозначение участка	Эксперт 1	Эксперт 2	Эксперт 3	Интегральная оценка
1.	Участок 1 (перспективный)	62	54	66	65,4 (В)
2.	Участок 3 (перспективный)	58	55	65	61,9 (В)
3.	Участок 4 (перспективный)	61	65	71	71,9 (В)
4.	Участок 5 (перспективный)	86	74	73	84,6 (ОВ)

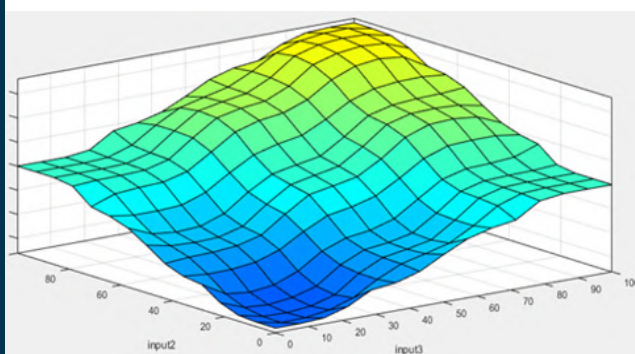


Рис. 4.
 Внешний вид поверхности функции принадлежности

Аналогичный вывод о корректности примененных продукционных правил позволяет сделать и внешний вид функции принадлежности (рис. 4).

Таким образом, нами предложена методика ранжирования участков недр по перспективности на основе применения нечеткой логики. Она позволяет путем использования заданных продукционных правил выполнять ранжирование участков недр по перспективности. Продукционные правила должны охватывать все возможные сочетания экспертных оценок в доверительных интервалах. Также в рамках реализации методики требуется соотносить принадлежность участков недр от нечетких оценок к четким математическим множествам. Данная операция реализуется программным способом (алгоритмом Мамдани) путем проведения последовательных операций фазификация – дефазификация в компоненте *Fuzzy logic* программного продукта Matlab. Для визуализации методики используется модель Куба. Перспективные объекты в результате моделирования располагаются на гранях с оценками В (высокая) и ОВ (очень высокая) ^{XXI}

Литература

- García, Luan & Abel, Mara & Perrin, Michel & Alvarengarenata, Renata. (2019). The geocore ontology: A core ontology for general use in Geology. Computers & Geosciences. 135. 10.1016/j.cageo.2019.104387.
- Guarino, Nicola & Welty, Christopher. (2002). Evaluating ontological decisions with ontoclean. Communications of the ACM. 45. 61-65.
- Zhong, Jian & Aydina, Atilla & Mcguinness, Deborah. (2009). Ontology of fractures. Journal of Structural Geology - J STRUCT GEOL. 31. 251-259. 10.1016/j.jsg.2009.01.008.
- Геолого-экономическое районирование в управлении фондом недр и геологоразведочной промышленностью / П. Р. Ноговицын, О. Н. Федонин, В. С. Дадькин, В. М. Скандцев. – Брянск : Общество с ограниченной ответственностью «Новый проект», 2018. – 304 с. – ISBN 978-5-6041705-9-5.
- Дадькин, В. С. Снижение воспроизводства минерально-сырьевой базы как угроза экономической безопасности / В. С. Дадькин, О. В. Дадькина // Социально-экономические и гуманитарные исследования: проблемы, тенденции и перспективы развития : Материалы международной научно-практической конференции, Брянск, 27-28 апреля 2016 года. – Брянск: Брянский государственный аграрный университет, 2016. – С. 24-27.

UDC: 332.14:004.9

V.S. Dadykin, Doctor of Economics, Associate Professor, Bryansk State Technical University, Professor of the Department of Digital Economy, dadykin88@bk.ru
O.V. Dadykina, Candidate of Economics, Associate Professor, Bryansk State Technical University, Associate Professor of the Department of Digital Economy, atamanova_281287@mail.ru
N.A. Yazvenko, Bryansk State Technical University, Assistant of the Department of Digital Economy nikolayyazvenko@mail.ru

METHODOLOGICAL ASPECTS OF RANKING SUBSURFACE AREAS BY PROSPECTS BASED ON THE USE OF FUZZY LOGIC

Abstract: Currently, in the conditions of the need for financing the reproduction of the mineral resource base by the state, especially in terms of identifying forecast resources, and in some cases up to the category of reserves C2, there is an urgent need to develop a methodology for ranking a subsurface area by prospects. As a rule, in such situations, it is necessary to take into account quantitative and qualitative assessments of subsurface areas. At the same time, the proportion of quantitative estimates is usually lower at the early stages of work with a promising subsurface object. At the same time, the prevailing qualitative assessments usually contain several expert opinions, which are quite difficult to simultaneously take into account and apply in tandem with quantitative assessments. In such situations, the use of fuzzy logic models will allow to formalize and automate the calculation of the integral assessment of subsurface areas for the purposes of their ranking. Therefore, the purpose of this work is to develop methodological aspects of ranking subsurface areas by prospects based on the use of fuzzy logic.

Keywords: ranking of subsurface areas, fuzzy logic, assessment of prospects, integral assessment.



Макаров В.Н.
 д-р геол.-мин. наук, профессор
 ИМЗ СО РАН, главный научный сотрудник лаборатории
 подземных вод и геохимии криолитозоны
 vnmakarov@mpi.ysn.ru

ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ХВОСТОХРАНИЛИЩ ГОРНО-ОБОГАТИТЕЛЬНЫХ КОМБИНАТОВ ЯКУТИИ

Рассмотрена концентрация химических элементов в жидкой и твердой фазах хвостов горно-обогатительных комбинатов рудных месторождений Якутии. Показано, что стоки хвостохранилищ приводят к образованию протяженных техногенных геохимических потоков в речной сети.

В зависимости от мощности и сплошности многолетнемерзлых пород техногенные аномалии могут формироваться и в подземных водах. Установлено, что хвостохранилища являются источниками долговременного загрязнения экосистем токсичными элементами. Сделан вывод о высоком уровне загрязнении окружающей среды в районе хвостохранилищ и возможных катастрофических последствий при возникновении аварийных ситуаций.

Ключевые слова: горно-обогатительные комбинаты, рудные месторождения, хвостохранилища, геохимия, токсиканты, Якутия.

Высокие токсикологические свойства ряда химических элементов определяют необходимость изучения их распространения, как в природных, так и в техногенных компонентах окружающей среды: атмосфере, снежном покрове, растениях, поверхностных и подземных водах, горных породах и почвах. Техногенными долговременными концентраторами токсичных элементов служат хвостохранилища ГОКов рудных месторождений полезных ископаемых. Даже при отсутствии чрезвычайных ситуаций они являются объектами техногенной и экологической опасности, источниками загрязнения грунтовых и поверхностных вод, почвенного покрова, растительности и атмосферы при испарении с поверхности и пылении.

Целью исследований была оценка роли хвостохранилищ горнодобывающих предприятий месторождений полезных ископаемых как потенциальных источников поступления токсичных элементов в окружающую среду и загрязнения природных экосистем на территории рудных районов Якутии.

Во всех странах вопросам охраны окружающей среды при проектировании и дальнейшей эксплуатации хвостохранилищ ГОКов месторождений полезных ископаемых уделяется особое внимание. Игнорирование этих факторов может привести к катастрофическим последствиям. Яркими примерами служат аварии на хвостохранилищах рудных месторождений по всему миру: Карамкен (Россия), Кумтор (Киргизия), Fundao (Бразилия), Mount Polley (Канада) и других. Аварийные ситуации могут происходить и при консервации хвостохранилищ. Так, авария на Карамкенском месторождении в Магаданской области произошла почти через 15 лет после прекращения горнорудных работ. Хвостохранилище не эксплуатировалось с 1994 г. Однако в конце августа 2009 г. при усилении процессов заводнения чаши хвостохранилища произошел прорыв паводковых вод. Это привело к залповому выбросу селеподобной массы, вызвавшему частичное разрушение жилого поселка в долине р. Хасын, гибель людей, уничтожение речных гидробионтов [2].

Таблица 1.
Геоэкологическое и геохимическое воздействие хвостохранилищ ГОКов рудных месторождений Якутии

Месторождения: объекты освоения	ММП: t, °C; мощность, м;	Геоэкологическое воздействие при аварийных ситуациях	Геохимические аномалии
Редкоземельное Томтор (бассейн р. Анабар)	-6,5 -8,4 165-750	Значительное загрязнение почвы, водотоков и водоемов, активизация термоэрозийных процессов, локальная деградация почвенно-растительного покрова, заболачивание	La, Ce, U, Th, Pb, Co, Zn, SO ₄ , pH
Золоторудное Кючюс (бассейн р. Яна)	-6,8 -10,0 300-500		As, Sb, Hg, Ni, Mn, Zn, SO ₄ , pH
Олова Северо-Янского оловоносного района: Барыллыэлах, Эге-Хая Депутатское, Кестер, Дьяхтардахское, Улахан-Эгеляхское, Чурпуньяа	-3 -7,2 270-500	Наличие геохимических аномалий, загрязнение воздуха, водотоков и водоемов, почвы, активизация эрозийных процессов, локальная деградация почвенно-растительного покрова,	Sn, Mo, Cu, Zn, Pb, Bi, Hg, SO ₄ , pH
Серебра, золота, олова, сурьмы Южно-Верхоянского района; Золото-сурьмяные Верхне-Индибирского района	-6,4 -9,1 190-400		As, Hg, SO ₄ , pH
Золоторудные Куранахского рудного поля.Якоцит-Селигдарское междуречье	-0,5 -4,0 180-300 талики	Наличие геохимических аномалий, загрязнение воздуха, водотоков и водоемов, подземных вод, почвы, деградация почвенно-растительного покрова на значительных площадях	As, Sb, Hg, SO ₄ , pH
Золоторудное Таборное, Южная Якутия	-4,5 300-400 талики		As, Sb, Hg, SO ₄ , pH
Железорудные (бассейн р. Торго)	-1,0 -3,5 20-300	Слабое загрязнение воздуха, водотоков и водоемов, деградация почвенно-растительного покрова на значительных площадях	Fe, Co, Ti
Эльконская урановоносная зона (месторождения U и Au)	-1,7 -4,5 120 -340 талики	Наличие геохимических аномалий, загрязнение воздуха, водотоков и водоемов, подземных вод, почвы, деградация почвенно-растительного покрова	U, As, Hg

Примечание: ММП – многолетнемерзлые породы

Другим примером является прорыв плотины и разлив хвостов на хвостохранилище рудника медно-золоторудного месторождения Маунт-Полли (Канада) произошедший 4 августа 2014 г. Площадь хвостохранилища составляла четыре квадратных километра, объем 175 млн. м³. В результате аварии было выпущено 10 млн. м³ воды и 4,5 млн. м³ потенциально токсичного шлама в практически нетронутые леса, реки и озера Канады. Компании Mount Polley Mining Company пришлось инвестировать более 70 миллионов долларов в восстановление природы после прорыва дамбы [7].

Большинство хвостохранилищ ГОКов рудных месторождений в Якутии пойменного типа, что увеличивает вероятность экологических рисков, интенсивного и долговременного загрязнения природы при нештатных ситуациях, подобных аварии на Маунт-Полли (Канада).

Анализ геолого-экологической обстановки в Якутии показывает, что основными территориями загрязнения окружающей среды при отработке рудных месторождений является Северо-Восток региона и юг – Алданский щит, т.е. районы богатые рудными полезными ископаемыми, где наиболее развита горнорудная промышленность, являющаяся одним из наиболее мощных факторов антропогенных преобразований окружающей среды. Химический состав техногенных геохимических аномалий не представляет загадки, так как практически аналогичен природным, сконцентрированным на месторождениях. При аварийных ситуациях на хвостохранилищах ГОКов рудных месторождений в окружающую среду поступит широкий комплекс химических элементов, в том числе и высоко токсичных, таких как As, Cd, Hg, F, Pb, Zn, Tl, Be, P (**таблица 1**).

Отработка рудных месторождений сопровождается извлечением на поверхность больших масс горных пород, оборотных технических вод, эксплуатацией хвостохранилищ. Техногенные процессы, связанные с извлечением на поверхность большой массы руд и вмещающих пород, сопровождаются активизацией физико-химиче-

ских и биогеохимических процессов. Подобные процессы происходят и в хвостохранилищах. Даже если хвостохранилища не эксплуатируются в них продолжается активное преобразование минерального состава, накопленных рудных отходов, их глинизация. Известно, что гипергенное разрушение горных пород происходит и при отрицательных температурах, что позволило даже разработать метод криогеотехнологии – добычи металлов при отрицательных температурах [5]. Стоки через дамбы приводят к резкому изменению химического состава природных вод и формированию протяженных техногенных геохимических потоков в речной сети, особенно в районах распространения мерзлых высокольдистых отложений, например, в арктических районах Якутии: Куларском золотоносном, Северо-Янском оловоносном [6].

Хвостохранилища являются источниками долговременного загрязнения экосистем токсичными элементами. Рудная пульпа, особенно после цианирования на золотоизвлекательных фабриках, обогащена металлами, содержащимися в пульпе (в основном халькофильной группы), в том числе такими высокотоксичными элементами как Zn, Cu, Pb, Sb, Hg, Tl. Некоторые хвостохранилища, где накапливаются отходы обогатительных фабрик месторождений олова, золота, сурьмы превратились в своеобразные техногенные месторождения. Содержание, например, As в осадках хвостохранилищ обогатительных фабрик, особенно в техногенных илах, достигают ураганных значений – до 1-1,5% (**таблица 2**).

Высокое содержание токсичных элементов наблюдается и в воде хвостохранилищ ГОКов, где концентрация, например, мышьяка превышает санитарные нормы в десятки раз (**таблица 3**).

Экологическая опасность продуктов обогащения связана с активизацией физико-химических процессов и миграционной способности металлов, что ведет к развитию контрастных и протяженных техногенных гидро- и литохимических потоков рассеяния [4]. Так, интенсивная отработка оловоносных россыпей Северо-Янского оловоносного района (Мамонт, Тасаппа, Тенкели

Таблица 2.

Содержание As в осадках хвостохранилищ обогатительных фабрик рудных месторождений, мг/кг.

Обогатительные фабрики	Мин	Макс	Среднее	Примечание
Аллах-Юньская	-	-	2000	Лежалые хвосты
Депутатская	-	1000	-	Хвостохранилище
	-	500	-	Отстойник
Дуэтская	-	-	500	Хвосты гравитации
Куларзолото	15	700	112	Лежалые хвосты
Нежданинская,	890	970	-	Хвостохранилище, карта 5
Самолазовская	-	До 1,5%	-	Осадки отстойника
Самолазовская	-	До 1%	-	Осадки оборотных растворов
Сарылахская	-	2 000	-	Хвостовая пульпа

Таблица 3.

Содержание мышьяка в воде хвостохранилищ ГОКов рудных месторождений Якутии, мкг/л.

Адрес	Полезное ископаемое	Среднее	Максим	Примечание
Аллах-Юньская ЗИФ	Au	200	-	Действующее
Аллах-Юньская ЗИФ	Au	7	-	Действующее, старое
Куранахская ЗИФ	Au	22-23	-	Хвостохранилище
Куранахская ЗИФ	Au	59,4	2 800	Хвостовая пульпа
Нежданинское	Au	60	2 000	Хвостохранилище
Нежданинское	Au	240	890-970	Хвостохранилище
Сарылахская ОФ	Au, Sb	-	2 000	Пульпа
Депутатская ОФ	Sn	-	100	Хвостохранилище
Депутатская ОФ	Sn	-	50	Отстойник
ПДК		50		[1]

Таблица 4.

Степень химического загрязнения техногенных вод Куранахской ЗИФ

Техногенные воды	Уровень превышения над ПДК [1]			
	1000 n	100 n	10 n	n
Хвостовая пульпа фабрики	Fe (5700)	Mn, V(800-900), As, Cu (270), Cr, Zn (100-150)	Z (60), Pb, Hg, Ni (20-30)	-
Старое хвостохранилище (2 секция)	-	-	Z(70), Cu(40), Fe (10)	N(NH ₄), Ni(6-8) Mn, SO ₄ (2)
Старое хвостохранилище (3 секция)	-	-	Mn, Cu (12)	Z, Fe (4-7)
Хвостохранилище ЗИФ	-	-	Cu (30), Z (18), Fe (10)	NH ₄ (8), Ni, Mn, Zn (2-3)

Примечание

Z - цианиды

и др.) сопровождалась контрастными техногенными геохимическими аномалиями в гидросети, отличавшихся высокой мутностью воды, а их протяженность достигала десятков километров.

В Южной Якутии в бассейне реки Б. Куранах, где действует долголетний мощный техногенный объект – Нижнекуранахская золотоизвлекательная фабрика и расположены хвостохранилища Куранахской и Лебединской ЗИФ сформировалась комплексная геохимическая аномалия. Согласно критериям оценки степени химического загрязнения поверхностных вод [3] хвостовая пульпа Куранахской ЗИФ отвечает параметрам экологического бедствия, техногенные воды старого хвостохранилища во 2 секции чрезвычайной экологической ситуации, техногенные воды старого хвостохранилища в 3 секции и хвостохранилища ЗИФ – неблагоприятной экологической ситуации (таблица 4).

В воде хвостохранилища Куранахской ЗИФ обнаружен широкий комплекс токсичных элементов, однако их концентрация в десятки (Cu, Cr, Zn) и сотни (Fe, Mn, V, As) раз ниже, чем в хвостовой пульпе фабрики. В техногенных водах ЗИФ Куранахского рудного поля содержание цианидов достигает 1-4 мг/л, в хвостохранилище – 0,92-3,58; в хвостовой пульпе – 3,18 мг/л. Содержание цианидов в пруде хвостохранилища значительно снижается, по сравнению с концентрацией в хвостовой пульпе, что свидетельствует о хорошем естественном разложении цианидов.

Неблагоприятные мерзлотно-геологические условия (закарстованность горных пород и мощные таликовые зоны) способствуют миграции загрязнителей со дна хвостохранилищ в подземные воды. Наиболее высокая степень загрязнения подземных вод нижнекембрийского водоносного комплекса наблюдается в ряде скважин, где величина суммарного показателя химического загрязнения близка к показателям в хвостохранилище ЗИФ.

Нисходящая инфильтрация техногенных вод из хвостохранилищ Куранахской ЗИФ, обогащенных соединениями цианидов, по трещиноватым талым карбонатным породам загрязняет глубокозалегающие воды нижнекембрийского водоносного комплекса. Уровень химического загрязнения постепенно снижается к юго-западу и северо-востоку от хвостохранилища до минимальных значений, отвечающих удовлетворительной экологической ситуации. Зона неудовлетворительной экологической ситуации – загрязнения подземных вод нижнекембрийского водоносного комплекса, главным образом, соединениями азота, протягивается в северо-восточном направлении не менее чем на 5,5 км вдоль хвостохранилища ЗИФ. Ширина техногенного потока в подземных водах в центральной части – около одного километра.

В скважинах, пробуренных в долине р. Куранах выше Куранахской ЗИФ, суммарная концентрация азота в воде около 0,40 мг/л и отсутствуют

цианиды, в районе фабрики она возрастает до 6,52 мг/л и в подземных водах обнаруживаются цианиды и тиоцианиды. Техногенные воды, поступающие в подмерзлотный нижнекембрийский водоносный комплекс, приводят к изменению их геохимической обстановки за счет повышения в подземных водах концентрации железа и соединений азота: аммония, нитратов, цианидов и тиоцианидов. В скважинах, расположенных на некотором удалении от хвостохранилища, содержание цианидов и железа снижается до фоновых значений. Это свидетельствует о достаточно быстром разложении и осаждении их из растворенной фазы воды за счет биогеохимических и адсорбционных процессов, нейтрализации и разбавления. Параметры техногенной геохимической аномалии цианидов в подземных водах локальны, уже на расстоянии 500-600 м от Куранахской ЗИФ концентрация загрязняющих компонентов снижается до фоновых значений (рисунки 1).

Существующее техногенное воздействие на гидрогеохимическую обстановку не вызывает опасности возникновения чрезвычайных геоэкологических ситуаций. Этому способствуют специфические условия формирования и стока подземных вод, особенности их инфильтрационного питания и достаточно высокие водные ресурсы в регионе. Разгрузка основных техногенных потоков Нижнекуранахского хвостохранилища происходит в подземные воды нижнекембрийского

водоносного горизонта, однако их воздействие на подземные воды в целом локально.

В поверхностных водах, расположенных ниже хвостохранилищ зафиксированы аномальные содержания Hg, As, Cd, Pb. Поверхностный сток с хвостохранилищ ЗИФ (рисунки 2), в основном за счет слива дренажных вод, формирует гидрогеохимическую аномалию в р. Б.Куранах. Концентрация мышьяка в пределах гидрогеохимической аномалии в 6-10 раз выше фоновой концентрации в поверхностных водах Якобит-Селигдарского междуречья, но на порядок ниже гигиенических ПДК.

В реках и ручьях района Куранахского рудного поля, где на золотоизвлекательной фабрике цианиды используются при обогащении руд, содержание цианидов в воде изменяется в пределах 0,005–0,02 мг/л (устье р. Бол. Куранах – 0,02 мг/л). В техногенных водах ЗИФ Куранахского рудного поля содержание цианидов достигает 1-4 мг/л, в хвостохранилище – 0,92-3,58; в хвостовой пульпе – 3,18 мг/л.

Интенсивность и протяженность техногенных геохимических шлейфов различна и зависит от форм их нахождения и миграционных свойств. Протяженность литохимических аномалий As, Ag, W, Hg, Mo, Mn, Pb и Tl около 5 км.

Геохимическая оценка системы вода-донные осадки-почвы-растения выявила аномальные концентрации металлов (выше фоновых показателей n-10n) в нижних бьефах Нижнекура-

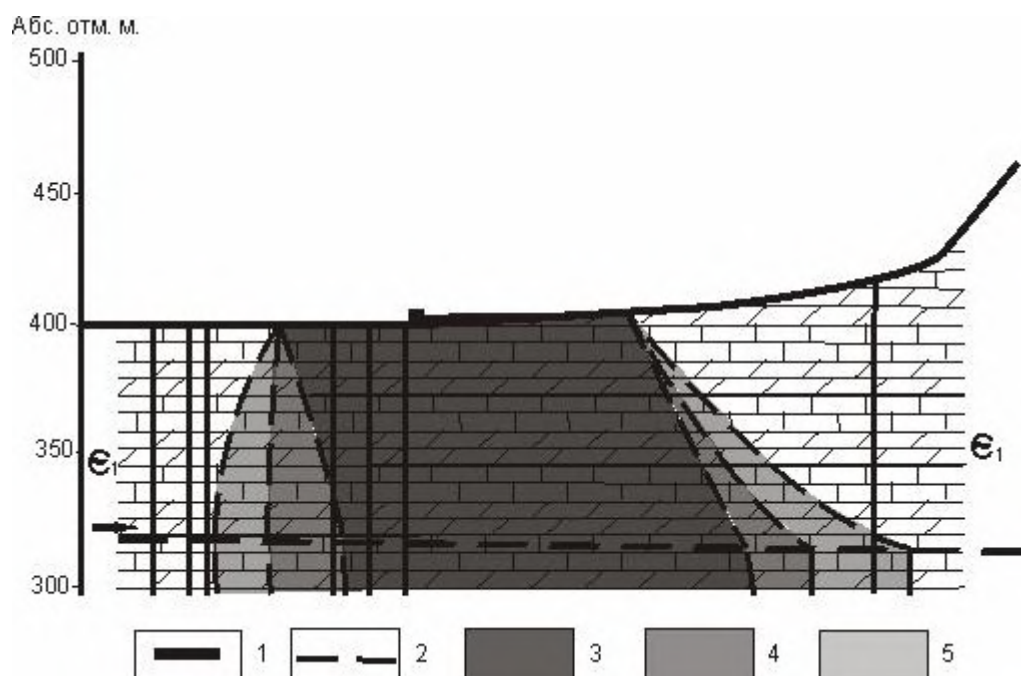


Рис. 1. Геохимическая аномалия цианидов в подземных водах (Куранахская ЗИФ)
 1 – хвостохранилище ЗИФ; 2 – уровень подземных вод; 3-5 – концентрация цианидов в подземных водах, мг/л:
 3 – 0,5, 4 – 0,3, 5 – 0,05



Рис. 2.
Перелив сточных вод из хвостохранилища Куранахской ЗИФ

Таблица 5.
Параметры техногенных аномалий в районе Нижнекуранахской ЗИФ

Компоненты экосистем		Кларк концентрации*
Фоновые системы		
Почвы Якутит-селигдарского междуречья		2
Техногенные системы		
Куранахское рудное поле	Руда	125As, 3Cu, 2Sb, Pb, Mo, Co
	Вмещающие породы	50As, 40Tl, 7Sb
	Почвы	15As, 1,3Cu
Хвосты Нижнекуранахской ЗИФ		125Au, 88Sb, 35As, 32Ag, 12W, 3,6Tl, 2,5Mo, 1,2Pb, Zn, Hg
Нижний бьеф Нижнекуранахского хвостохранилища Долина р. Б.Куранах, руч. Латышский,	Вода	7 Cd, Tl
	Донные осадки	328Au, 9As, 8Ag, 5W, 2Hg, Mo, 1,4 Mn, Pb, Tl
	Почвы	19Ag, 9As, 5W, 3Mo, 2Mn, Hg, 1,4 Pb, Tl
	Растительность	Мох 245W, Cr, 150As, 34V, Mn, 25Ag, 6Cu, Mo, Pb Лиственница 49Cr, 25As, 14Mn, 5 Ag, W, 2Mo, Cu

нахского хвостохранилища (**таблица 5**) при их отсутствии или фоновом уровне в верхнем бьефе.

Хвостохранилища Депутатского ГОКа находятся на северо-востоке Якутии в зоне сочленения Селяннихской межгорной впадины с горной цепью Салтага-Тас. Климат района резко континентальный с суровой продолжительной зимой (8-9 месяцев) и коротким летом. Среднегодовая температура воздуха в районе -13,2°C. В отличие от мерзлотных условий Куранахского рудного поля многолетнемерзлые породы в районе Депутатского ГОКа имеют сплошной характер развития, мощностью около 500 м и температурой на подошве слоя годовых колебаний около -7,0°C, исключающих проникновение загрязнителей с поверхности в подземные водоносные горизонты. Сезонное оттаивание грунтов составляет от 0,4 до 1,8 м. Основными географическими факторами, отрицательно влияющими на преобразование экосистем криолитозоны в районе месторождения являются климатические (низкая температура, высокая повторяемость безветренных дней, туманы,

относительно высокая плотность воздуха), геоморфологические и геокриологические условия ландшафтов (льдистость отложений, температура горных пород, мощность сезонноталого слоя, наледи и другие мерзлотные процессы и явления).

К другой группе факторов, влияющих на последствия недропользования относятся геологические и горнотехнические условия залегания месторождения, рельеф местности (**рисунок 3**), глубина и мощность продуктивного слоя, физико-химические свойства и геохимический состав руд, эндогенных ореолов и вмещающих пород.

В целом, природные условия не благоприятствуют высокой активности гипергенных процессов. В основном, это лимитируется небольшой глубиной протаивания грунтов и малой мощностью рыхлых отложений, не превышающей 2-2,5 м.

Отрицательные экологические последствия разработки Депутатского месторождения олова имеют локальный характер по загрязнению атмосферы и литосферы и являются региональными по уровню техногенного давления на водные системы [4].



Рис. 3. Космический снимок района Депутатского месторождения

Таблица 6. Содержание макро- и микрокомпонентов в техногенных водоемах Депутатского оловорудного месторождения, мг/л.

Объекты	pH	NH ₄ ⁺	NO ₂ ⁻	SO ₄ ²⁻	Mg ²⁺	Zn	Cu	Mn	As
Хвостохранилище	2,6-3,5	405	0,034	11350	145	1,1	64	45	0,10
Водосброс, 1991 г.	2,6	1,0	0,005	1094	60	1,5	2,0	1,0	0,005
Водосброс, 2021 г.	2,9	< 0,5	1,31	1250	52	< 0,005	< 0,001	0,0043	0,005
[1]	-	0,1	0,02	100	40	0,010	0,001	0,010	0,010

Для техногенных стоков с хвостохранилища характерна стабильность поступления загрязнителей в водотоки. «Ураганная» кислотность, повышенная концентрация сульфатов и соединений азота наблюдается в водосбросе хвостохранилища Депутатского оловорудного месторождения на протяжении тридцати лет (таблица 6).

Поступление техногенных вод из хвостохранилища (рисунок 4) формирует контрастные техногенные гидрогеохимические аномалии в р. Депутатская, ручьях, расположенных ниже по течению и даже в крутой реке Иргичээн, куда сточные воды с накопителя жидких промышленных отходов на хвостохранилище прямоком спускаются в водосбросный лоток. При этом содержание, к примеру, аммония, Fe, Mn, Cu, Zn в воде, накапливающейся в хвостохранилище, превышает ПДК в сотни и даже в тысячи раз (см. таблицу 6).

Значительную опасность представляет такие высокотоксичные элементы как As и Pb, накапливающиеся в осадках отстойников и хвостохранилищ, и способные быть источниками вторичного загрязнения воды. Содержание этих токсикантов в осадках, особенно в техногенных илах, достигает высоких концентраций (таблица 7).

Вода ручьев, расположенных ниже разрабатываемых месторождений Депутатского рудного

поля, представляет собой типичные «рудные» воды с преобладанием сульфатов в солевом составе и высокой концентрацией тяжелых металлов. Это очень агрессивные кислые воды с величиной pH 2,5-3,5 и повышенной минерализацией. Высокая кислотность и насыщенность природных вод сульфатами и тяжелыми металлами наблюдается практически на всем протяжении р. Депутатская. Химический состав воды ниже хвостохранилища ДОФ сульфатный магниево-кальциевый с минерализацией около 2,5 г/л.

Большие объемы загрязненных стоков попадают в водные системы при катастрофических паводках. На Депутатском ГОК в 2007 г. в период с 22 мая по 4 июня объем сброса составил 202 тыс. м³; в 2008 г. с 6 по 13 июня, было сброшено 103 тыс. м³ паводковой загрязненной воды при пропускной способности сифонного водосброса 600 м³/час.

Хвостохранилища являются источниками загрязнения почв, водотоков и растительности токсичными элементами также за счет эолового переноса.

При разработке Куранахского месторождения произошла существенная трансформация биогеохимической организованности экосистем сопряженных территорий в связи с усилением поступления вещества не только с нарушенных земель, но и с хвостохранилища. Это привело



Рис. 4. Хвостохранилище Депутатской ОФ

к заметному увеличению спектра типоморфных металлов золоторудного месторождения в растительности. Особенно чутко реагируют на атмосферный перенос с поверхности хвостохранилища мхи и лишайники. Содержания As во мхах и лишайниках достигает 14 мг/кг на воздушно-сухой вес, в золе – до 50 мг/кг, в листовнице – 2,5 мг/кг, голубике – 0,7 мг/кг.

Другим примером олового загрязнения является атмосферный перенос с поверхности хвостохранилища № 2 ЗИФ Куларзолото Куларского золоторудного района на севере Якутии, в

Таблица 7.

Содержание As и Pb в осадках хвостохранилищ Депутатского ГОКа, мг/кг.

Объекты ГОКа	As	Pb
Хвостохранилище	1000	7
Отстойник	500	70
ПДК _{почв} [1]	10	32

Таблица 8.

Содержание As в растительности у хвостохранилища ЗИФ «Куларзолото»

Растительность	Среднее, мг/кг	Максим., мг/кг	Кол-во проб
Лиственница (кора)	33	50	9
Разнотравье	18	30	11
Мох	35	70	11
Ягель	34	50	11
Брусника	17	30	7
Среднее для растительности и района	22	-	92

результате которого сформировалась литохимические и биохимические аномалии As на расстоянии до 100-120 м от хвостохранилища. Среднее содержание As в растительности вблизи хвостохранилища изменяется в пределах 17-35 мг/кг (в среднем – 22 мг/кг). Максимальные концентрации – до 50 мг/кг наблюдаются во мхах, ягеле и коре листовницы (таблица 8). ❶

Литература

- СанПиН 1.2.3685-21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания (2021) Москва: Минздрав РФ, 496 с.
- Готов В.Е., Глотова Л.П., Бульбан А.П., Митрофанов И.Д. Хвостохранилище Карамкенского горно-металлургического комбината: инженерно-геологические проблемы и причины аварийного разрушения // Вестник ДВО РАН. 2010, № 3 (151). С. 31-39.
- Критерии оценки экологической обстановки территорий для выявления зон чрезвычайной экологической ситуации и зон экологического бедствия. – М.: Мин. охраны окружающей среды России, 1992. – 55 с.
- Макаров В.Н. Геохимические потоки рассеяния в Северо-Янском оловоносном районе // Мат. Всероссийского симпозиума «Минералогия и геохимия ландшафта горнорудных территорий» и IX Всероссийских чтений памяти академика А.Е. Ферсмана по проблеме «Современное минералообразование», 29.11-02.12.2010. – Чита, 2010. – С.39-42.
- Птицын А. Б., Абрамова В. А., Маркович Т. И., Эпова Е. С. Геохимия криогенных зон окисления. Рос. акад. наук, Сиб. отд-ние, Ин-т природ. ресурсов, экологии и криологии. – Новосибирск: Наука, 2009. – 87 с.
- Шац М.М. Макаров В.Н. Геоэкологические особенности недропользования в Восточной Сибири. Всероссийская конференция с международным участием «Устойчивость природных и технических систем в криолитозоне», посвященная 60-летию образования ИМЗ СО РАН (28-30.09.2020 г.), Якутск: ИМЗ СО РАН. 2020. С.204-207.
- Environmental and Safety Incidents concerning Tailings Dams at Mines: Results of a Survey for the years 1976-2016 by Mining Journal Research Services; a report prepared for United Nations Environments Program, Industry and Environment. Paris. 2017. P.135 (Инциденты в области охраны окружающей среды и техники безопасности, связанные с дамбами хвостохранилищ на шахтах: Результаты опроса за 1976-2016 годы, проведенного Mining Journal Research Services; отчет, подготовленный для Программы Организации Объединенных Наций по промышленности и окружающей среде. Париж. 2017. С.135).

UDC: 622:553 (571.56)

V. N.Makarov, PhD (Geology and Mineralogy), Dr. Habil, professor, Chief Researcher of Laboratory groundwater and geochemistry Permafrost, Melnikov Permafrost Institute Siberian Branch Russian Academy of Sciences, vnmakarov@mpi.ysn.ru

GEOCHEMICAL ASSESSMENT OF TAILINGS OF MINING AND PROCESSING PLANTS IN YAKUTIA

Abstract: The concentration of chemical elements in the liquid and solid phases of the tailings of mining and processing plants of ore deposits in Yakutia is considered. It is shown that tailings runoff leads to the formation of extended technogenic geochemical flows in the river network. Depending on the thickness and continuity of permafrost, technogenic anomalies can also form in groundwater. It has been established that tailings are sources of long-term pollution of ecosystems with toxic elements. The conclusion is made about the high level of environmental pollution in the area of tailings and possible catastrophic consequences in the event of emergencies.

Keywords: mining and processing plants, ore tailings, tailings, geochemistry, toxicants, Yakutia.



Бурмистров А.А.
канд. геол.-мин. наук
МГУ имени М.В. Ломоносова
доцент кафедры геологии, геохимии
и экономики полезных ископаемых
alek.burmistroff2017@yandex.ru



Хребтиевский В.В.
МГУ имени М.В. Ломоносова
магистр кафедры геологии, геохимии
и экономики полезных ископаемых
st064292@gmail.com



Ерастов Е.А.
АО «Михеевский горно-
обогатительный комбинат»
главный геолог
Evgenij_Erastov@mgok.rcc-group.ru

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ СВЯЗИ ПЕТРОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ С ТИПАМИ И ИНТЕНСИВНОСТЬЮ МЕТАСОМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ ВМЕЩАЮЩИХ ПОРОД И РУД НОВНИКОЛАЕВСКОГО УЧАСТКА МИХЕЕВСКОГО МЕДНО-ПОРФИРОВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (ЮЖНЫЙ УРАЛ)

Произведено изучение химического и минерального состава 11 образцов вмещающих пород Новониколаевского участка, в разной степени измененных предрудными и синрудными метасоматическими процессами с рядом их петрофизических параметров. На основе статистического анализа полученных данных показана принципиальная возможность осуществления экспрессной количественной оценки характера и степени метасоматических преобразований вмещающих пород этого участка по петрофизическим данным.

Ключевые слова: структурно-петрофизический анализ, метасоматические изменения, медно-порфировое оруденение, петрологическое исследование образцов, Новониколаевский участок, Михеевское месторождение, Южный Урал.

Проведенные в этой работе комплексные исследования 11 образцов керна вмещающих пород и руд из керна скважин Новониколаевского участка Михеевского месторождения включали количественное изучение их минерального и химического состава, измерение ряда их физико-механических, магнитных и ядерно-физических свойств и статистическую оценку взаимных связей этих параметров. В дальнейшем расширение и уточнение этой информации позволит проводить петрофизическое картирование как данного, так и других подобных рудных объектов с целью уточнения их структуры и условий локализации оруденения, что является основой структурно-петрофизического анализа рудных полей и месторождений. Это направление структурных исследований использует положением о фундаментальной теоретически обоснованной и инструментально проверенной количественной зависимости величин различных петрофизических свойств пород и руд от их состава и структуры [Старостин, 1979], что является следствием геологических процессов их образования и наложенных изменений. Это было не раз подтверждено и развито в работах многих исследователей, посвященных изучению рудных месторождений различных типов, в том числе и в публикациях авторов этой статьи [Бурмистров и др., 2009, 2015, 2022].

Краткий очерк геологического строения Новониколаевского участка

Новониколаевский участок находится на территории Варненского муниципального района Челябинской области, юго-западнее Михеевского медно-порфирового месторождения. В структурном отношении он приурочен к западному крылу Михеевской грабен-синклинали, которое осложнено субмеридиональным Тарутинско-Джетыгаринским магмо- и рудоконтролирующим разломом. В геологическом строении участка принимают участие стратифицированные образования ащисуйской толщи (D_3-C_1) известняков, андезибазальтов, туфопесчаников, алевролитов, которая прорвана позднедевон-раннекаменноугольными Михеевским диорит-порфириновым и Ульяновским дацит-риодацитовым интрузивными комплексами (рис. 1). Медно-порфировое оруденение представлено субмеридиональным линейным штокверком, прослеживающимся на 1,6 км по простиранию и образованным преимущественно крутопадающими кварц-карбонат-хлоритовыми прожилками, вкрапленностью и мелко-гнездовыми агрегатами пирита и халькопирита. Пространственно образование штокверка контролировалось мелкой трещиноватостью, развитой в

зоне динамического влияния магмо- и рудоконтролирующего Тарутинско-Джетыгаринского субмеридионального разлома субвертикального падения, а также локальными поперечными разрывными нарушениями. В зоне его влияния медно-порфировая минерализация тяготеет к экзо- и эндоконтактам штоков и даек Михеевского рудоносного комплекса.

Вмещающие породы участка в различной степени метасоматически преобразованы. Распространены предрудные гранат-пироксен-эпидотовые и синрудные карбонат-серицитовые, хлорит-кварцевые изменения. Петрографическое описание и микронзондовый анализ образцов с различными метасоматическими изменениями приводится ниже (рис. 2-11, табл. 1-2).

Описание обр. 2.

Кварц-серицит-хлоритовый метасоматит по алевролиту с гранобластовой, алевритовой, тонкозернистой структурой и массивной, сланцеватой текстурой, в своем составе содержит (в %): кварц (30), серицит (25), сидерит (20), пирит (15), хлорит (10). С хлоритизацией и окварцеванием связан привнос пирита, карбонат (сидерит)-серицитовые изменения более поздние (рис. 2, 3).

Описание обр. 5.

Кварц-карбонат-хлорит-серицитовый метасоматит по долериту с диабазовой, неравномернозернистой структурой, плосковолнистой сланцеватой, местами массивной текстурой, в своём составе содержит (в %): серицит (30), карбонат (30), кварц (18), плагиоклаз (15), хлорит (5), лейкоксен (2). Плагиоклаз реликтовый от замещённой материнской породы, хлорит замещает темноцветы, кварц-карбонат-серицитовые изменения наиболее поздние (рис. 4, 5).

Описание обр. 4.

Хлоритизированный и окварцованный известняк с гетеробластовой, коррозионной структурой, пятнисто-полосчатой текстурой, в своём составе содержит (в %): карбонат (50), кварц (17), пирит (15), хлорит (13), халькопирит (5), рутил, пирротин – единичные зёрна. С хлоритизацией связан привнос пирита, окварцевание и анкеритизация первичного кальцита более поздние (рис. 4). В анкерите встречается примесь марганца (рис. 6, 7, 8, табл. 1).

Описание обр. 3.

Окварцованный, карбонатизированный и хлоритизированный гранат (гроссуляр)-эпидотовый скарн с гомеобластовой, мелкозернистой структурой, пятнисто-полосчатой тексту-

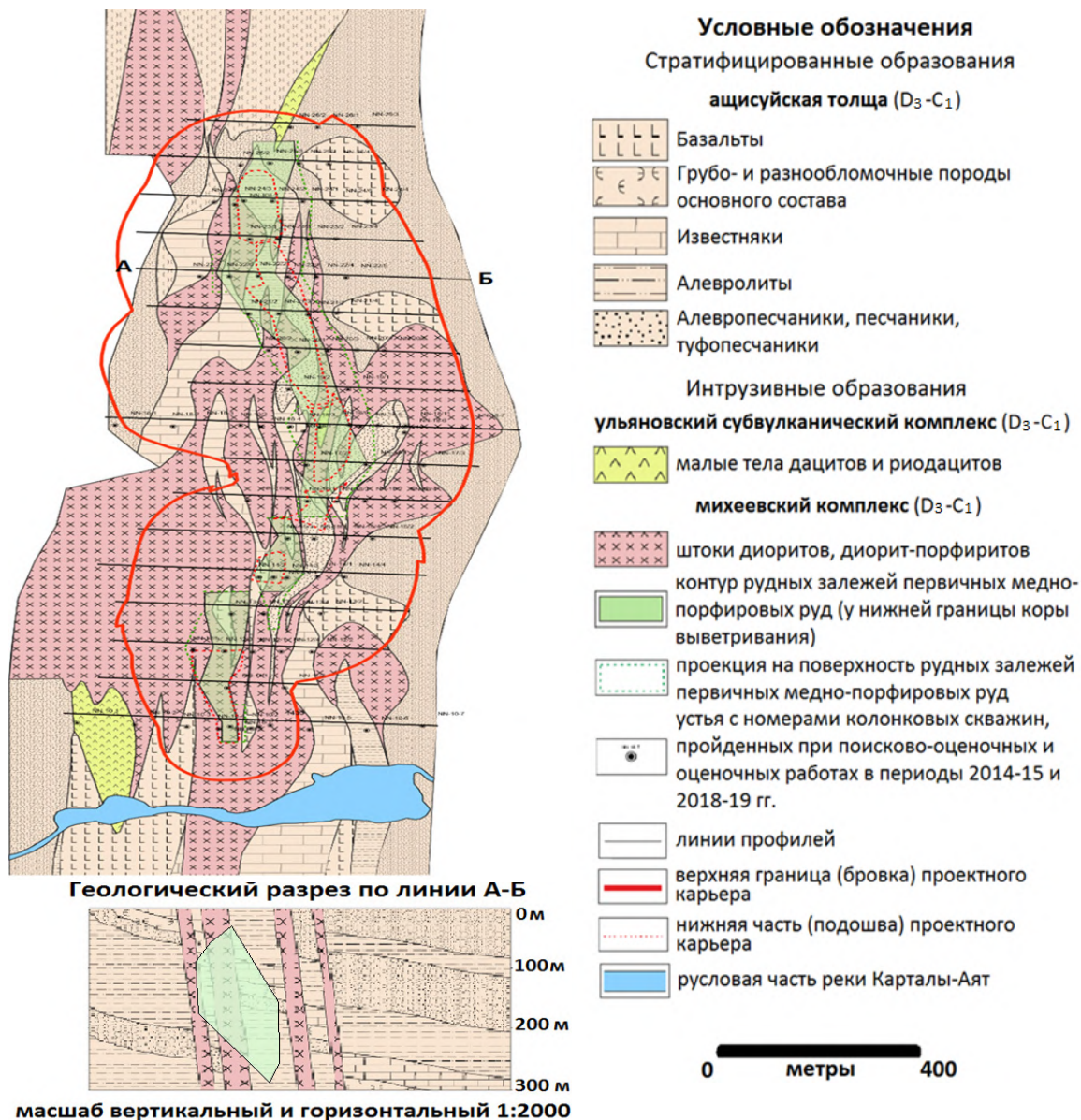


Рис. 1.

Схематическая геологическая карта Новониколаевского участка Михеевского месторождения со снятым чехлом рыхлых отложений (по данным АО РМК «Михеевский ГОК»)

рой, в своём составе содержит (в %): гранат (39), карбонат (38), кварц (16), хлорит (6), рудный минерал (1), эпидот – единичные зёрна. Кварц и карбонат замещают более ранние зёрна граната (рис. 9, 10). В гранате и хромите по гранату (рис. 11, табл. 2) отмечается примесь марганца.

Методика и результаты петрофизических и геохимических исследований

Петрофизические исследования 11 образцов керна пород и руд этого участка включали измерение плотности твердой фазы (d , г/см³), эффективной пористости (Пэф, %), модуля Юнга (ГПа), магнитной восприимчивости (маг, 10⁻⁵ ед. СИ) и бета-излучения (beta, импульс/см³*сек). Исследование вещественного состава этих об-

разцов включало определение содержаний в них Cu, Pb, Zn, As, Mo, Fe, K, Ca, Mn и микроскопическое изучение их минерального состава. Статистическая обработка полученной информации проводилась с помощью корреляционного и кластерного анализа.

Плотность твердой фазы и эффективная пористость определялись методом гидростатического взвешивания образцов с расчетом этих свойств по следующим формулам [Бурмистров и др., 2009]:

$$d=0,998 \cdot P / (P_s - P_{sw})$$

$$Пэф=100 \cdot (P_{sw} - P) / (P_s - P_{sw})$$

где P – вес сухого образца, P_s – вес насыщенного водой образца, P_{sw} – вес насыщенного водой образца в воде.

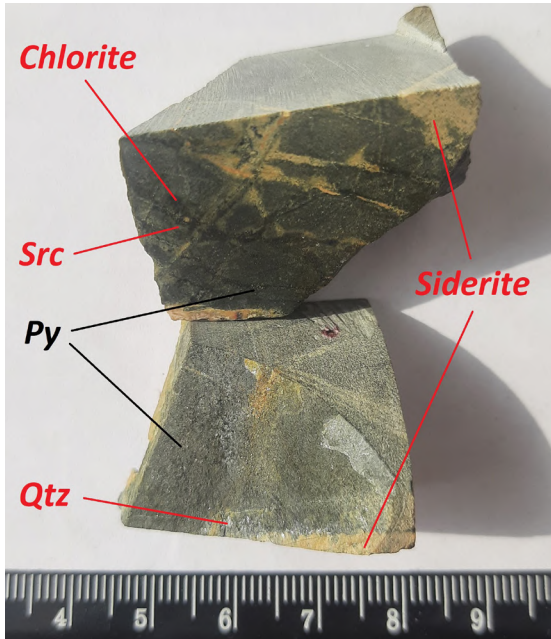


Рис. 2.
Обр. 2. Фото образца с подписями.
Текстовые подписи: Chlorite, Qtz, Siderite, Py, Src

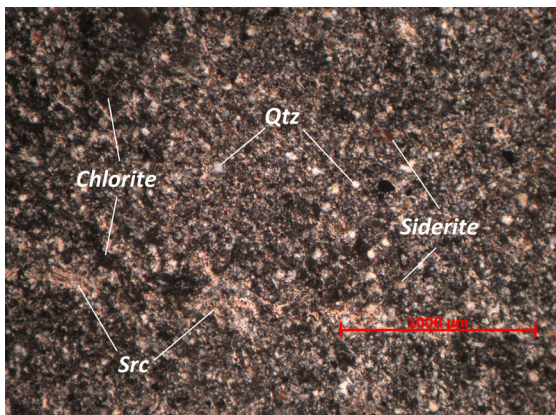


Рис. 3.
Обр. 2. Фото шлифа (николи X).
Текстовые подписи: Src, Chlorite, Qtz, Siderite

Взвешивание производилось с точностью 0,01г, что при объемах образцов 50-150 см³ обеспечивало достижение точности определения плотности около 0,01г/см³, а эффективной пористости – около 0,1%.

Модуль Юнга вычислялся по следующим формулам, известным из теории упругости:

$$E=2*(Vs)^2*d*(1-Пэф/100)*(1+μ)$$

где $μ=(1-2λ2)/[2(1-λ2)]$
 $λ=Vs/Vp$

Скорости продольной Vp (км/сек) и поперечной Vs (км/сек) ультразвуковых волн измерялись тестером УК1401 с точностью 0,2 км/сек. Магнитная восприимчивость измерялась каппаметром ИМВ-1М с точностью 10⁻⁶ ед. СИ.



Рис. 4.
Обр. 5. Фото образца с подписями.
Текстовые подписи: Carb, Chlorite, Src, Qtz

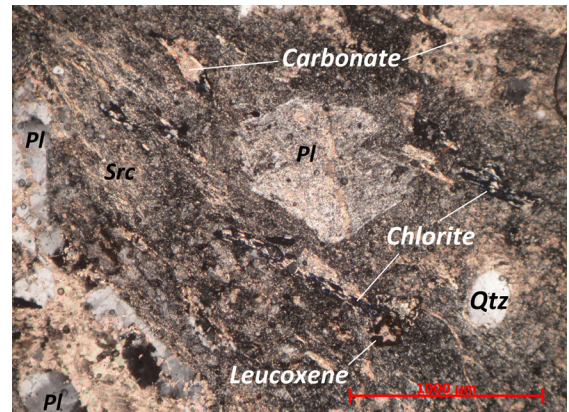


Рис. 5.
Фото шлифа (николи X).
Текстовые подписи: Pl, Src, Qtz, Leucoxene, Chlorite, Carbonate

Интенсивность бета-излучения измерялась дозиметром-радиометром ДРБПОЗ.

Объемные содержания в образцах рудной и нерудной фаз (Срф и Снф, соответственно) определялись из системы следующих уравнений:

$$d=C_{рф} * d_{рф} + C_{нф} * d_{нф}$$

$$C_{рф} + C_{нф} = 1$$

где d, дрф, днф – плотности твердой фазы образцов, их рудной фазы (4,7 г/см³) и нерудной фазы (2,7 г/см³), соответственно.

Плотность рудной и нерудной фаз принята как приближенное среднее из значений плотностей рудных и нерудных минералов, соответственно, исходя из данных изучения прозрачных и полированных шлифов.

Содержание серицита (C_{сер}) в нерудной фазе образцов определялось из следующего уравнения:

$$beta=beta_{сер} * C_{сер} / C_{нф}$$

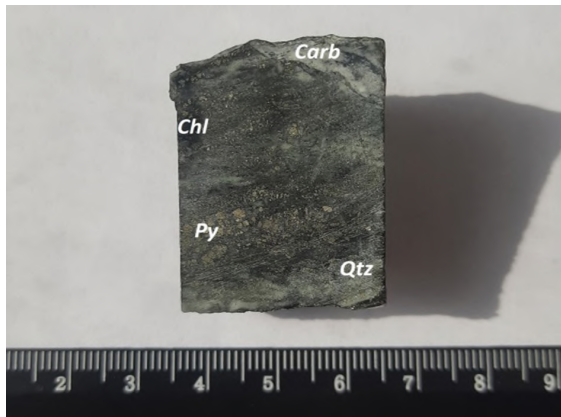


Рис. 6.
Обр. 4. Фото образца с подписями.
Текстовые подписи: Chl, Py, Qtz, Carb

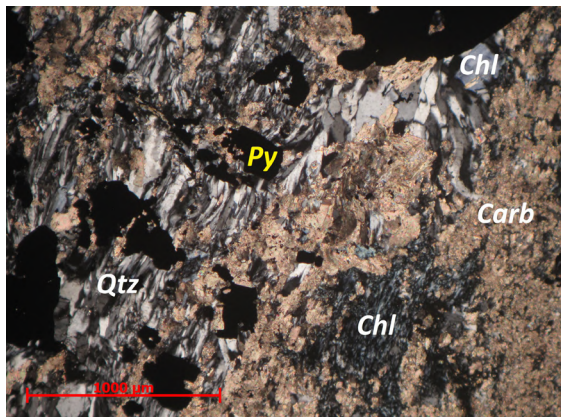


Рис. 7.
Обр. 4. Фото шлифа (николи X).
Текстовые подписи: Qtz, Py, Chl, Carb

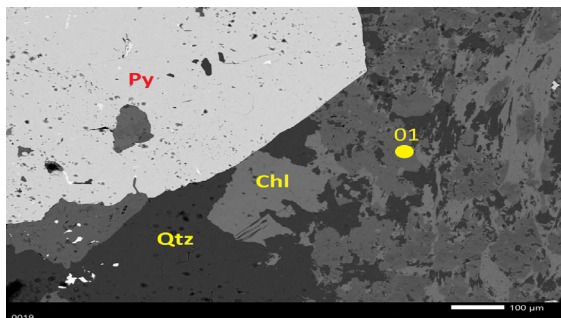


Рис. 8.
Анкерит с примесью марганца.
Изображение в обратно-рассеянных электронах.
Текстовые подписи: Qtz, Py, Chl, O1

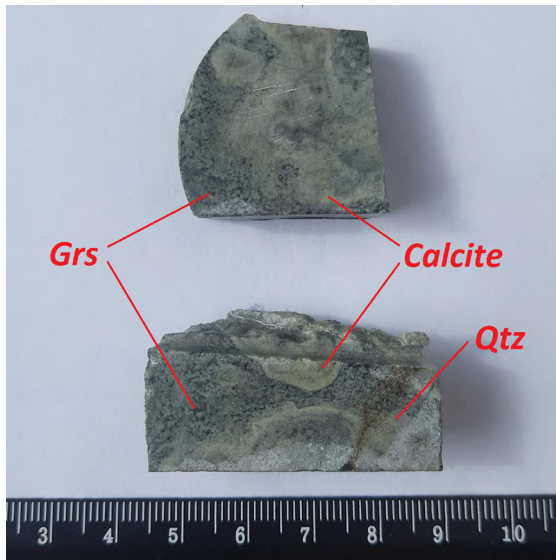


Рис. 9.
Обр. 3. Фото образца с подписями.
Текстовые подписи: Grs, Calcite, Qtz

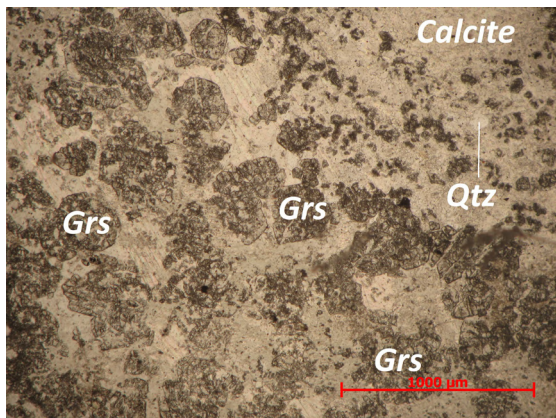


Рис. 10.
Обр. 3. Фото шлифа (николи II).
Текстовые подписи: Grs, Calcite, Qtz

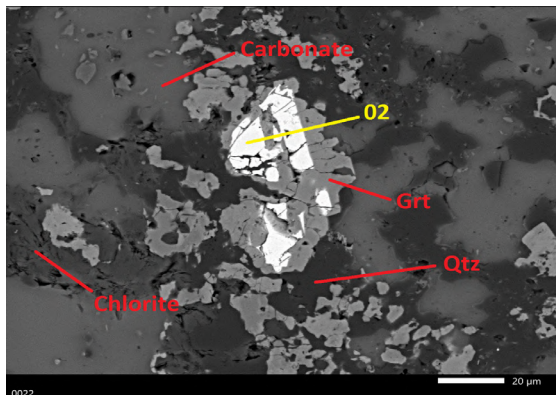


Рис. 11.
Обр. 3. хромит по гранату с примесью марганца.
Изображение в обратно-рассеянных электронах
Текстовые подписи: Chlorite, Carbonate, Qtz, Grt, O2.

Таблица 1.

Химический состав анкерита с примесью марганца из обр. 4 по результатам микронзондового анализа

Обр. 4	MgO	CaO	MnO	FeO	Всего
01	6,31	26,65	0,55	21,38	54,89

Таблица 2.

Химический состав хромита с примесью марганца из обр. 3 по результатам микронзондового анализа

Обр. 3	Cr ₂ O ₃	MnO	FeO	Всего
02	43,07	8,37	37,93	97,49

Таблица 3.

Геохимические и петрофизические характеристики изученных образцов

№ обр.	d	П _{эф}	mag	beta	Pb	Zn	Cu	As	Fe	Mn	Ca	K	E	ГИ	ПИ	Канк
6	4,1	0,8	29	0,03	0,005	0,176	0,563	0,096	23,2	0,09	5,8	0,03	50	1,1	-5,3	1,5
10	3,1	1,5	27	0,06	0,440	0,192	0,039	0,011	7,1	0,01	0,2	0,75	22	0,8	3,6	16,3
9	2,8	1,6	16	0,18	0,002	0,045	0,005	0,004	2,5	0,12	1,7	3,10	17	0,1	0,4	72,0
7	2,9	1,1	26	0,17	0,001	0,004	0,009	0,001	5,0	0,03	1,5	2,32	14	0,1	1,8	52,9
8	2,7	0,4	49	0,07	0,001	0,002	0,005	0,001	4,1	0,02	2,0	1,91	27	0,0	1,6	5,1
1	2,8	1,5	38	0,11	0,001	0,030	0,005	0,001	5,8	0,04	0,2	1,50	24	0,1	3,1	29,0
11	2,7	0,2	22	0,05	0,001	0,036	0,129	0,001	3,9	0,09	1,1	0,85	11	0,2	-0,1	4,2
3	2,9	0,1	20	0,06	0,001	0,010	0,005	0,001	2,8	0,26	16,3	0,03	25	0,0	-7,4	0,6
2	2,6	3,0	31	0,07	0,002	0,012	0,156	0,003	3,1	0,12	3,3	1,53	16	0,2	-1,0	62,1
5	2,7	0,7	24	0,06	0,001	0,010	0,005	0,002	3,9	0,06	2,9	1,67	23	0,1	0,1	7,9
4	3,3	0,1	90	0,04	0,001	0,045	0,034	0,004	17,1	0,29	4,9	0,03	30	0,3	-6,3	0,5

Примечание: условные обозначения и единицы измерения петрофизических параметров приведены в тексте; содержания химических компонентов приведены в %. Содержания Mo в образцах не приводятся, т.к. они близки к фоновым.

где beta, beta_{se} – измеренные интенсивности бета-излучения образца и серицита (мусковита), соответственно.

Средние содержания химических элементов в образцах были определены XRF-анализатором EDXRF Niton FXL 950 GOLDD + (Ag anode, 50 kV/200 μA/4 W) старшим научным сотрудником Лубковой Т.Н. на кафедре геохимии геологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова.

По результатам корреляционного анализа (табл. 4) были выбраны рудные элементы, имеющие значимую прямую корреляционную связь с основным рудным компонентом – медью, на основе чего был рассчитан геохимический индикатор (ГИ) рудоносности образцов:

$$ГИ = Cu + Pb + Zn + As + Fe / 100$$

Петрохимический индикатор (ПИ) степени метасоматических изменений образцов рассчитывался по содержаниям в них калия, кальция и марганца по формуле:

$$ПИ = \ln[K / (10 * Mn * Ca)]$$

По расчетам коэффициентов ранговой корреляции Спирмена (КС) были установлены значимые прямые или обратные связи между некоторыми компонентами химического состава и петрофизическими свойствами образцов (табл. 4). Корреляционная связь между магнитной восприимчивостью и плотностью твердой фазы незначимая (КС=+0,21), что согласно результатам исследований различных рудных объектов, представленных в работе [Пахомов М.И., Пахомов В.И., 1984],

Таблица 4.

Результаты расчета содержаний рудной фазы ($C_{рф}$, %) и серицита в образцах (Ser , %), а также содержаний серицита в самой нерудной фазе ($Ser_{нф}$, %), суммарных содержаний Cu , Pb , Zn , As , Fe (C_{Me} %) по данным анализа методом XRF

№ обр.	$C_{рф}$, %	C_{Me} %	$Ser_{нф}$	Ser
6	73	24	32	9
10	25	8	23	17
9	12	3	59	51
7	13	5	56	49
8	6	4	21	20
1	10	6	35	31
11	3	4	15	14
3	14	3	20	17
2	0	3	20	20
5	5	4	18	17
4	34	17	17	11
correl	0,95	-0,08	-0,47	

Таблица 5.

Значимые коэффициенты ранговой корреляции Спирмена между геохимическими и петрофизическими параметрами образцов пород и руд Новониколаевского участка Михеевского месторождения

	beta	Pb	Zn	Cu	As	Fe	Ca	K	E
d			0,54		0,57	0,61		-0,56	0,60
Пэф	0,57	0,64			(-0,43)			(-0,45)	(-0,41)
mag						0,66			0,50
beta			-0,46	-0,54		-0,48	(-0,42)	0,85	-0,46
Pb			0,56	0,47	0,82				
Zn				0,53	0,77	(-0,41)		-0,57	
Cu					(-0,43)			-0,49	
Fe								-0,50	0,52
Mn							0,67		
Ca								(-0,40)	0,56
K									-0,54

Примечание: пороговые значения коэффициентов корреляции равны $\pm 0,46$ при уровне доверительной вероятности 0,85; в скобках показаны значения коэффициентов, близкие к пороговым.

обусловлено развитием в породах сульфидной минерализации. При ее отсутствии значения КС приближаются к+1.

Комплексный аномальный петрофизический коэффициент (КАПК), рассчитанный по следующей формуле:

$$КАПК = (25/E_i) * (2,9/d_i) * (Пэф/0,1) * (beta/0,06)$$

где E_i , d_i и $Пэф$, $beta_i$ – значения модуля Юнга, плотности твердой фазы, эффективной пористости, интенсивности бета-излучения в i -м образце, соответственно; числовые значения в этой формуле соответствуют величинам этих параметров для относительно слабо измененного образца №3 (табл. 3). Значения петрофизических параметров, выбранных для расчета КАПК, находятся либо в числителе, либо в знаменателе приведенной выше формулы, что определяется

прямой или обратной корреляционной связью между ними. Результаты петрофизических и геохимических исследований приведены в табл. 3.

Для КАПК и ПИ $КС = +0,59$, что свидетельствует о наличии значимой корреляционной связи петрофизических параметров ($Пэф$, E и d и $beta$) со степенью метасоматических изменений пород (пропилитизацией, карбонатизацией и серицитизацией). Значения КС между ГИ и ПИ, а также между ГИ и КАПК близки к нулю, т.е. уровни содержаний рудных компонентов и тип, и степень метасоматических изменений не связаны между собой.

Значения коэффициентов парной корреляции Пирсона между $C_{рф}$, % и C_{Me} , % (+0,95), C_{Me} , % и $Ser_{нф}$ (-0,08), что свидетельствует о высокой прямой связи между содержаниями рудной

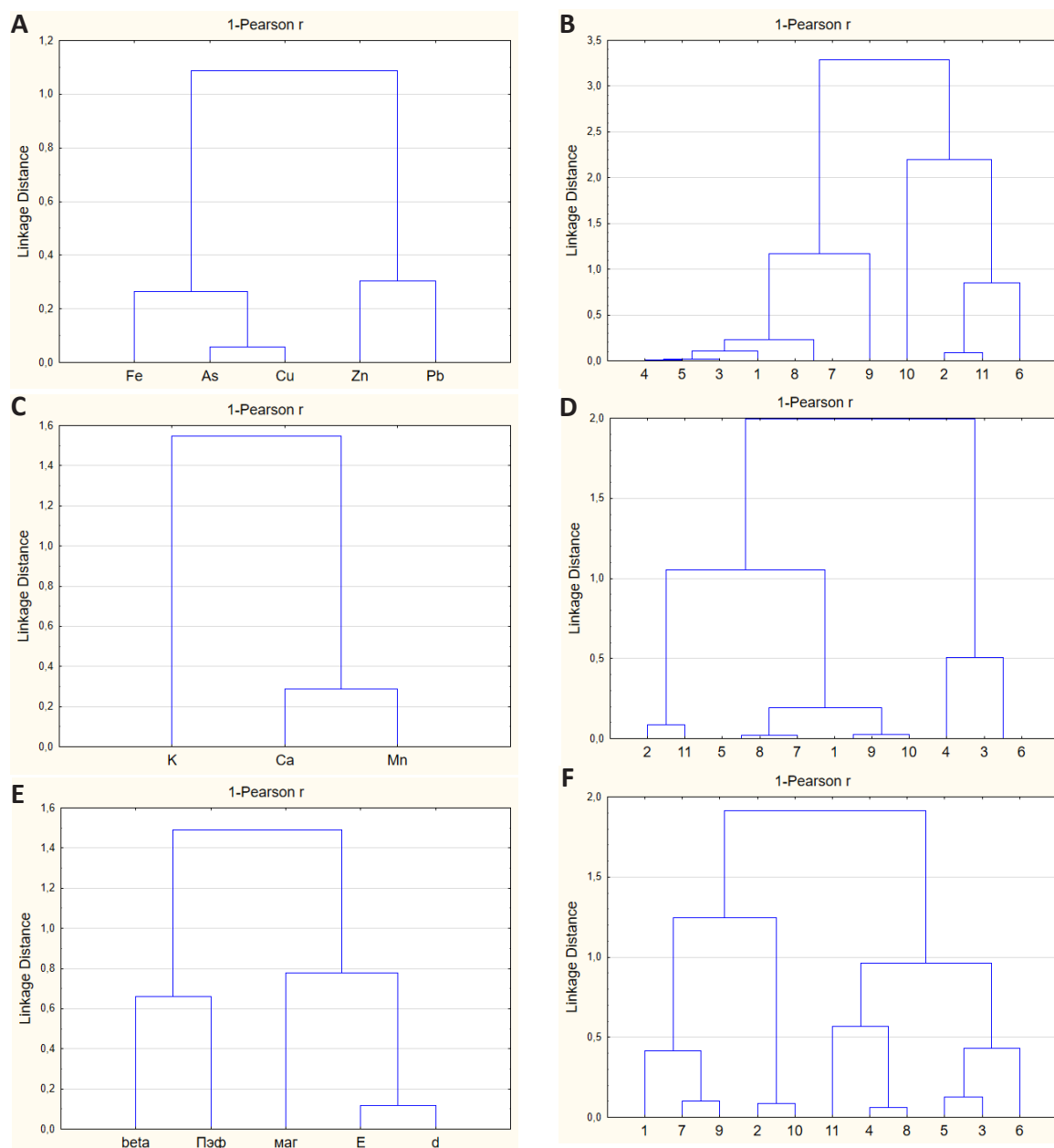


Рис. 12. Дендрогаммы кластерной классификации: компонентов химического состава (рис. 12, А, С), петрофизических параметров (рис. 12, В, D, F) и образцов (рис. 12, Е). Расстояния объединения (Linkage Distance): 1 – коэффициент парной корреляции Пирсона (1– Pearson r), их значения показаны на вертикальных осях дендрогамм. На горизонтальных осях дендрогамм (рис. 12, А, С, Е) приведены номера образцов. Обозначения петрофизических параметров приведены в тексте.

фазы и содержаниями рудных компонентов в образцах. Между содержаниями рудных компонентов и содержаниями серицита в нерудной фазе связь отсутствует.

Согласно результатам обобщающих исследований В.С. Звездова [Звездов, 2022] для большинства медно-порфировых месторождений характерна приуроченность промышленной рудной минерализации к зонам развития хрупких, высокопористых и низкопрочных хлорит-серицитовых метасоматитов. Поэтому в нашем

случае следовало бы ожидать наличия высокой прямой корреляции между ГИ и ПИ, а также между СМе и Serгнф, чего не наблюдается. Очевидно, что эти различия, с одной стороны, определяются более локальным масштабным уровнем наших исследований, т.к. изучались лишь отдельные образцы, в основном отобранные из рудных зон данного рудного объекта. С другой стороны, ореолы метасоматических изменений во вмещающих породах обычно развиты более широко и равномерно, чем штокверковая

Таблица 6.

Обобщенное выделение подгрупп образцов по результатам кластерного анализа

Группы параметров (номера групп)	Подгруппы образцов с повышенными (в среднем) значениями параметров соответствующих групп	Подгруппы образцов с пониженными (в среднем) значениями параметров соответствующих групп
Fe, Cu, As (Ia)	(2, 11, 6), 10	(4, 5, 3, 1, 8, 7), 9
Pb, Zn (Ib)	(4, 5, 3, 1, 8, 7), 9	(2, 11, 6), 10
K (IIa)	(2, 11), 5, 6, 7, 1, 9, 10	(4, 3, 6)
Ca, Mn(IIb)	(4, 3, 6)	(2, 11), 5, 6, 7, 1, 9, 10
Пэф, beta (IIIa)	(1, 7, 9), 2, 10	(5, 3, 6), 11, 4, 8
E, d, mag (IIIb)	(5, 3, 6), 11, 4, 8	(1, 7, 9), 2, 10

Примечание: Примечание: цифры в таблице соответствуют номерам образцов.

рудная минерализация, которая в основном локализуется в прожилках и гнездах, которые не всегда попадали в отобранные образцы.

Для выделения групп параметров с прямыми или обратными корреляционными связями были использованы непараметрический корреляционный и древовидный кластерный анализ с предварительным нормированием исходных значений параметров, приведенных в **табл. 3**, на их средние величины. Результаты корреляционного анализа представлены в **табл. 5**.

Разделение образцов на группы по нормированным значениям параметров также проводилось с помощью кластерного анализа (**рис. 12, A-F**). Построение дендрограмм кластерной классификации образцов (**рис. 12B, 12D, 12E**) проведено по параметрам, приведенным на **рис. 12A, 12C, 12F**, соответственно. Объединение параметров и образцов в группы проведено методом полной связи, за исключением дендрограммы на **рис. 12B**, где использовался метод Ворда.

На всех дендрограммах имеются две основные группы, в каждую из которых входят либо прямо связанные между собой параметры, либо образцы, характеризующиеся достаточно близкими значениями этих параметров (**табл. 6**). Корреляционные связи между самими этими группами обратные. В таблице 6 скобками выделены подгруппы образцов, наиболее сильно отличающихся друг от друга по значениям параметров, указанных в соответствующих группах. Эти подгруппы образцов занимают на дендрограммах крайние левое и правое положения, соответственно (**см. рис.12, B, D, F**).

Анализ свойств и химического состава образцов по выделенным подгруппам показывает, что рудная минерализация развита в породах с повышенными содержаниями серицита (калия) (образцы №№ 2, 11, 5, 6) и карбонатов (кальция и марганца) и скарнов (образцы №№ 4, 3, 6). При этом большая часть из них (образцы №№ 4, 3, 5, 6, 11) имеют относительно повышенные

величины плотности, модуля упругости и магнитной восприимчивости (группа IIIb), а образцы 2 и 10 – эффективной пористости и интенсивности бета-излучения (группа IIIa). Это также характерно для подгруппы образцов (№№1, 7, 9) с относительно повышенными содержаниями полиметаллической минерализации (группа Ib). Все это свидетельствует о развитии рудной минерализации как в карбонатизированных и скарнированных породах, так и в хлорит-серицитовых метасоматитах. Это подтверждается результатами изучения вещественного состава образцов под микроскопом, приведенными выше.

Общие выводы и рекомендации

Несмотря на локальный масштаб и ограниченный объем фактического материала проведенных исследований были установлены значимые статистические связи между вещественным составом рудовмещающих пород и руд и их петрофизическими свойствами, отражающих тип и интенсивность метасоматических изменений, и уровни содержаний рудных компонентов.

Сложность интерпретации полученных данных связана не только с ограниченным объемом исходной информации, но и с высокой неравномерностью развития рудной минерализации, совмещением разных типов метасоматических изменений в одних и тех же образцах. Использование дополнительных статистических методов анализа полученной информации (определение комплексного аномального петрофизического коэффициента и уровня корреляционной связи между магнитной восприимчивостью и плотностью твердой фазы пород, расчет содержаний рудной фазы и серицита в них) в комплексе с изучением вещественного состава образцов показало принципиальную возможность проведения подобных исследований в более широком объеме с целью определения значимых статистических связей между вещественными и петрофизическими параметрами вмещающих пород и руд. В дальнейшем петрофизические исследования необходимо проводить по более де-

тальной сети. Это позволит увеличить достоверность выявления и оконтуривания потенциально перспективных участков локализации промышленного оруденения. Прогнозная количественная оценка масштабов и уровня эрозионного среза оруденения может быть осуществлена при меньших затратах, чем обычно.

Построение количественных объемных рудно-петрофизических моделей эталонных (детально изученных) объектов данного типа может быть полезным для прогнозной оценки новых

перспективных объектов, что особенно важно при проведении работ на закрытых территориях и на глубоких горизонтах. Эффективность методики подобных исследований может быть значительно повышена в случае использования ее в комплексе со структурным изучением медно-порфировых объектов. Подобные исследования в ограниченных объемах уже проводилось нами на Михеевском и других месторождениях Южного Урала и других регионов СНГ [Бурмистров, 1990; Бурмистров, Хребтиевский, 2022]. **XXI**

Благодарности

Авторы выражают благодарность руководству ОАО «Михеевский ГОК» за предоставление возможности изучения керн скважин Новониколаевского участка Михеевского месторождения, старшего научного сотрудника кафедры геохимии геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова к. г.-м. н. Лубковой Т.Н. за проведение аналитических работ, сотрудникам лаборатории локальных методов исследования вещества МГУ им. М.В. Ломоносова за проведение микронзондового анализа и кафедре петрологии МГУ им. М.В. Ломоносова за возможность микроскопического исследования шлифов.

Литература

1. Старостин В.И. Структурно-петрофизический анализ эндогенных рудных полей. М.: Недра, 1979. 240 с.
2. Бурмистров А.А. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 04.00.11 – геология, поиски и разведка рудных и нерудных месторождений; металлогения. М, 1990. 26 с.
3. Бурмистров А.А., Старостин В.И., Дергачев А.Л., Петров В.А. Структурно-петрофизический анализ месторождений полезных ископаемых: Учебник – 2-е изд. испр. и доп. М., МАКС Пресс, 2009. 408с.
4. Бурмистров А.А., Хайратдинов Р.Р. Выявление магма- и рудоконтролирующей купольной структуры и рудных зон по петромагнитным и петроплотностным данным (на примере золоторудного месторождения Светлинское, Ю. Урал) // Шестнадцатая международная конференция «Физико-химические и петрофизические исследования в науках о Земле». Материалы конференции. М.: ИГЕМ РАН, 2015. С. 57-61.
5. Бурмистров А.А., Хребтиевский В.В. О некоторых структурных и петрофизических особенностях меднопорфирового оруденения месторождения Михеевское (Ю. Урал) // Тезисы международной конференции Ломоносовские чтения 2022. Секция "Геология", МГУ имени М.В. Ломоносова, Россия, 14-22 апреля 2022.
6. Грабежев А.И., Копырин И.С., Гуляева Т.Я. Прожилковые системы медно-порфирового Новониколаевского рудного узла. ЕЖЕГОДНИК-2013, Тр. ИГГ УрО РАН, вып. 161, 2014, с. 297–300.
7. Звездов С.В. Модели меднопорфировых рудно-магматических систем и месторождений для их поисков, прогноза и оценки. Автореферат диссертации на соискание степени доктора геолого-минералогических наук по специальности 1.6.10 – геология, поиски и разведка месторождений твердых полезных ископаемых, минерагения.
8. Петрофизика: Справочник. В трех книгах. Кн.1. Горные породы и полезные ископаемые /Под ред. Н.Б. Дортман.- М.: Недра, 1992. 391с.

UDC: 553.08, BBC: 26.341.3

A.A. Burmistrov, assistant professor Lomonosov Moscow State University, alek.burmistroff2017@yandex.ru

V.V. Khrebtievsky, postgraduate student Lomonosov Moscow State University, sst064292@gmail.com

E.A. Erastov, АО MIKHEEVSKIY GOK - 457218, Chelyabinskaya Oblast', r-n Varnenskiy, p Krasnoarmeyskiy, promzona Vladenie 1, d. STR. 1, Evgenij_Erastov@mgok.rcc-group.ru

PRELIMINARY RESEARCH OF THE PETROPHYSICAL PROPERTIES AND THE TYPES AND INTENSITY OF METASOMATIC ALTERATION OF ROCKS AND ORES OF THE NOVONIKOLAEVSKOE FIELD SITE OF THE MIKHEEVSKOE PORPHYRY COPPER DEPOSIT (SOUTHERN URALS)

Abstract: The chemical and mineral composition, as well as petrophysical parameters of 11 samples of the Novonikolaevskoe field site bed rocks, changed by pre-ore and syn-ore metasomatic processes, were studied. On the basis of the statistical analysis of this information was shown a principal possibility of an express evaluation of these alterations for this field site, using petrophysical data.

Keywords: structural-petrophysical analysis, metasomatic alterations, copper-porphyry ore mineralization, petrological research of samples, Novonikolaevskoe field site, Mikheevskoe deposit, Southern Urals.



Чуриков Ю.А.
МГУ имени М.В. Ломоносова
магистрант
churikov@geol.msu.ru



Самсонов А.А.
канд. геол.-мин. наук
МГУ им М.В. Ломоносова
старший научный сотрудник
samsonov@geol.msu.ru



Ишмухаметова В.Т.
канд. геол.-мин. наук
ИГЕМ РАН
старший научный сотрудник
geoivt@mail.ru

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ДЛЯ АНАЛИЗА ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ И РУДНОГО ПОТЕНЦИАЛА ТЕХНОГЕННЫХ ОТВАЛОВ КОВДОРСКОГО ГОКА

Проведен анализ динамики изменений почвенного покрова и водных ресурсов территории вокруг Ковдорского ГОКа с помощью методов математического сравнения космоснимков, сделанных в 1986 и 2022 годах. Выявлено значительное загрязнение почвенного покрова пылью за счет выбросов, образованных при проведении добычных работ в карьерах. В связи со строительством хвостохранилищ определены существенные изменения речной системы изучаемого района. Вместе с тем, при анализе спутниковых снимков отвалов и хвостов Ковдорского ГОКа, выделены потенциальные площади для разведки техногенных образований в качестве месторождения железа.

Ключевые слова: дистанционное зондирование Земли, Ковдорское месторождение, обработка космоснимков, почвенно-растительный покров, техногенные объекты, экологическая нагрузка, спутниковая геология.

Вплоть до 20-х годов прошлого века Мурманская область была территорией, на которой не велась масштабная горнопромышленная деятельность. Основными жителями Кольского полуострова были саамы, занимавшиеся оленеводством, а также русские поморы, занятием которых была рыбная ловля. Однако, ситуация резко изменилась в 1921 году, когда академик Е. А. Ферсман обнаружил в Хибинах залежи апатита, а спустя ещё несколько лет были обнаружены также месторождения многих других видов полезных ископаемых [3]. Среди них было и Ковдорское железорудное месторождение, открытое в 1933 году. Вскоре по всему полуострову началось освоение новых территорий: появились первые карьеры и горно-обогатительные комбинаты. Однако, вместе с развитием промышленности на Кольский полуостров возросла экологическая нагрузка: добыча сырья из карьеров немедленно повлекла за собой образование отвалов и хвостохранилищ, а переработка полезных ископаемых на горно-обогатительных комбинатах – колоссальные выбросы во все компоненты окружающей среды: атмосферный воздух, воду и почву. Отвалы, в свою очередь, не просто занимают определенную природную территорию, где раньше была растительность, но и оказывают значительное влияние окружающую среду: среди негативных экологических последствий выделяются пылевые выбросы, водная и ветровая эрозия, просадки и оползни [4]. В настоящее время помимо экологических проблем актуальным является и сокращение ресурсного потенциала Ковдорского ГОКа.

Современные средства дистанционного зондирования земли (ДЗЗ) позволяют эффективно определять экологическую нагрузку в регионах [2], а также могут успешно применяться при поиске и разведке месторождений полезных ископаемых [1]. Однако, существенными осложняющими факторами для использования данных ДЗЗ является обильная растительность, а также наличие мощных перекрывающих аллювиальных и элювиальных отложений. С этой позиции Кольский полуостров удобен для работы с использованием методов ДЗЗ из-за небогатого растительного мира, а изучение и интерпретация данных, полученных этими методами, на территориях полностью лишённых лесного покрова хвостохранилищ и отвалов горного производства может иметь максимальную эффективность.

Основная цель работы – провести анализ, основанный на интерпретации спектральных данных спутниковых снимков, экологической нагрузки на рассматриваемой территории и потенциального использования отвалов Ковдорского ГОКа в качестве техногенных источников железной руды,

Материалы и методы

Для проведения оценки динамики изменения состояния почвенно-растительного покрова Ковдорского массива были использованы космические снимки, полученные при помощи спутников Landsat, запущенных на орбиту Национальным управлением по аэронавтике и исследованию космического пространства (NASA) и Геологической службой США (USGS). Спутниковые снимки Landsat имеют характеристики пространственного разрешения в 30 метров, а также спектральных диапазонов в 0,4-1,1 мкм. Данные снимки являются многоспектральными: снимки Landsat-5 содержат семь спектральных каналов, снимки Landsat-7 – восемь каналов, а снимки Landsat-8 – одиннадцать. Канал представляет собой спектральный диапазон, находящийся на определенной частоте электромагнитного спектра. Причем этот спектральный диапазон может быть как видимым (красный, зеленый, синий), так и невидимым (ближний и коротковолновый инфракрасный) человеческому глазу.

Программа Landsat обладает наиболее обширной библиотекой космических изображений: на портале GloVis USGS доступны спутниковые снимки с 1973 по 2022 годы включительно [9].

В рамках предобработки проведена атмосферная коррекция с помощью Semi-Automatic Classification Plugin QGIS, с использованием метода DOS (Dark-Object Subtraction). Обработка космических снимков (расчёт вегетационных и геологических индексов) проводилась в геоинформационной системе SAGAGIS. Пространственная привязка растровых изображений, сравнение данных в пространстве и времени, а также составление карт были проведены в геоинформационной системе ArcGIS.

Для того, чтобы отслеживать изменения почвенно-растительного покрова на территории Мурманской области, были использованы многоспектральные космические снимки Landsat за 26 июля 1986 года (Landsat-5) и 21 июля 2022 года (Landsat-8).

Динамика состояния почвенно-растительного покрова рассчитывалась через нормализованный разностный вегетационный индекс (NDVI) [6]. Алгоритм расчёта данного индекса впервые разработал американский ученый Джон Роуз в 1973 году.

Формула для расчёта:

$$NDVI = \frac{NIR + RED}{NIR - RED} \quad (1)$$

NIR – ближний инфракрасный канал (NearInfrared), RED – красный канал.

Данная формула основана на том, что высокая фотосинтетическая активность, связанная с

произрастанием густой растительности, приводит к уменьшению отражательной способности объекта в красной зоне спектра (RED) и, наоборот, к увеличению отражательной способности в зоне ближнего инфракрасного канала (NIR). Формула для расчёта NDVI устроена таким образом, что, в отличие от некоторых других вегетационных индексов, его значение всегда находится в промежутке от 1 до -1, поэтому данный индекс удобно использовать как для сравнения состояния растительности во времени и в пространстве, а также для идентификации состояния растительного покрова в зависимости от значения NDVI. Разработана универсальная шкала значений для летнего времени, по которой можно оценивать степень развития зелёной биомассы, значения <0 приравниваются к техногенным сооружениям (бетон); значения 0 до 0,2 – отсутствие растительности; 0,3-1 наличие зелёной биомассы, где 0,3 слабое развитие, а 1 максимальное.

Используется также и альтернативный показатель MNDVI – модифицированный стандартизованный индекса различий воды. Вода имеет положительные значения, в отличие от схожего индекса NDWI, где значения воды отрицательные. С помощью данного индекса можно обнаружить обмеление либо, наоборот, увеличение площади водоёмов и водотоков, отследить появление либо исчезновение хвостохранилищ, а также обнаружить просачивание в карьер подземных вод.

$$MNDWI = \frac{GREEN - SWIR2}{GREEN + SWIR2} \quad (2)$$

GREEN – зелёный канал; SWIR 2 – коротковолновый инфракрасный канал (Shortwave Infrared).

Для оценки распределения железа по отвалам и хвостохранилищам использовались расчётный коэффициент «Ferrous Minerals Ratio», а также прямой пересчёт спектральных данных для Fe^{2+} и Fe^{3+} .

$$FerrousMineralsRatio = \frac{SWIR-1}{NIR} \quad (3)$$

SWIR-1 – Ближний ИК (Short Wavelength Infrared, NIR – ближний инфракрасный канал (NearInfrared).

Метод соотношения железистых минералов (FM) представляет собой геологический индекс для определения характеристик горных пород, содержащих некоторое количество железосодержащих минералов, с использованием диапазонов SWIR и NIR.

$$Fe^{3+} = \frac{Red}{Green} \quad (4)$$

RED – красный канал, Green – зелёный канал.

$$Fe^{2+} = \frac{SWIR - 2}{NIR} + \frac{Green}{Red} \quad (5)$$

RED – красный канал, Green – зелёный канал, SWIR-2 – Ближний ИК (Short Wavelength Infrared, NIR – ближний инфракрасный канал (NearInfrared).

В отвалах и хвостах отбирались заверочные пробы для анализа химического состава. Все пробы высушивались и измельчались до состояния аналитической пудры (фракция <0,063 мкм). Химический анализ проводился методом рентгено-флуоресцентной спектроскопии XRF-анализатором Niton FxL 950 старшим научным сотрудником Лубковой Т.Н. на кафедре геохимии геологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова.

Результаты

Экологическая оценка. Проведенный анализ спутникового снимка, сделанного в июле 2022 года и его сравнение с референсным снимком от 26 июля 1986 года (*рис. 1а-б*) показал, что за 36 лет на территории Ковдорского железорудного месторождения и прилегающих территориях в ландшафте произошли существенные изменения. В частности, значительно увеличилась площадь карьера, составлявшая в 1986 году 2,88 км². Деятельность горно-обогатительного производства (освоение карьера) неразрывно связана с формированием на прилегающих территориях отвалов и хвостохранилищ, где рассматриваемый интервал времени образовались три отвала и два хвостохранилища общей площадью 9,03 км² (*рис. 1б*). Помимо этого, из анализа снимков следует, что вся прилегающая территория имеет повышенное содержание железа за счет значительного загрязнения пылью, которая в этот период распространилась на 20 км вокруг карьера. (*рис. 1в*).

Сравнение MNDVI показало, что:

1) в 1986 году вода в пределах карьера отсутствовала, но по данным снимка 2022 года можно судить о наличии воды на дне карьера. Это говорит о проникновении в карьер подземных вод в результате значительного увеличения его глубины. При этом заметно, что окружающие реки значительно обмелели. С целью продолжения работ по добыче полезных ископаемых Ковдорский ГОК организовал насосные станции, которые выкачивают воду со дна карьера в озеро Ковдор.

2) в 1986 году первое поле хвостохранилища функционировало в штатном режиме, а в 2022 году MNDWI резко уменьшился в связи с осушением хвостохранилища и последующей добычей из него богатого апатитом и бадделейтом минерального сырья.

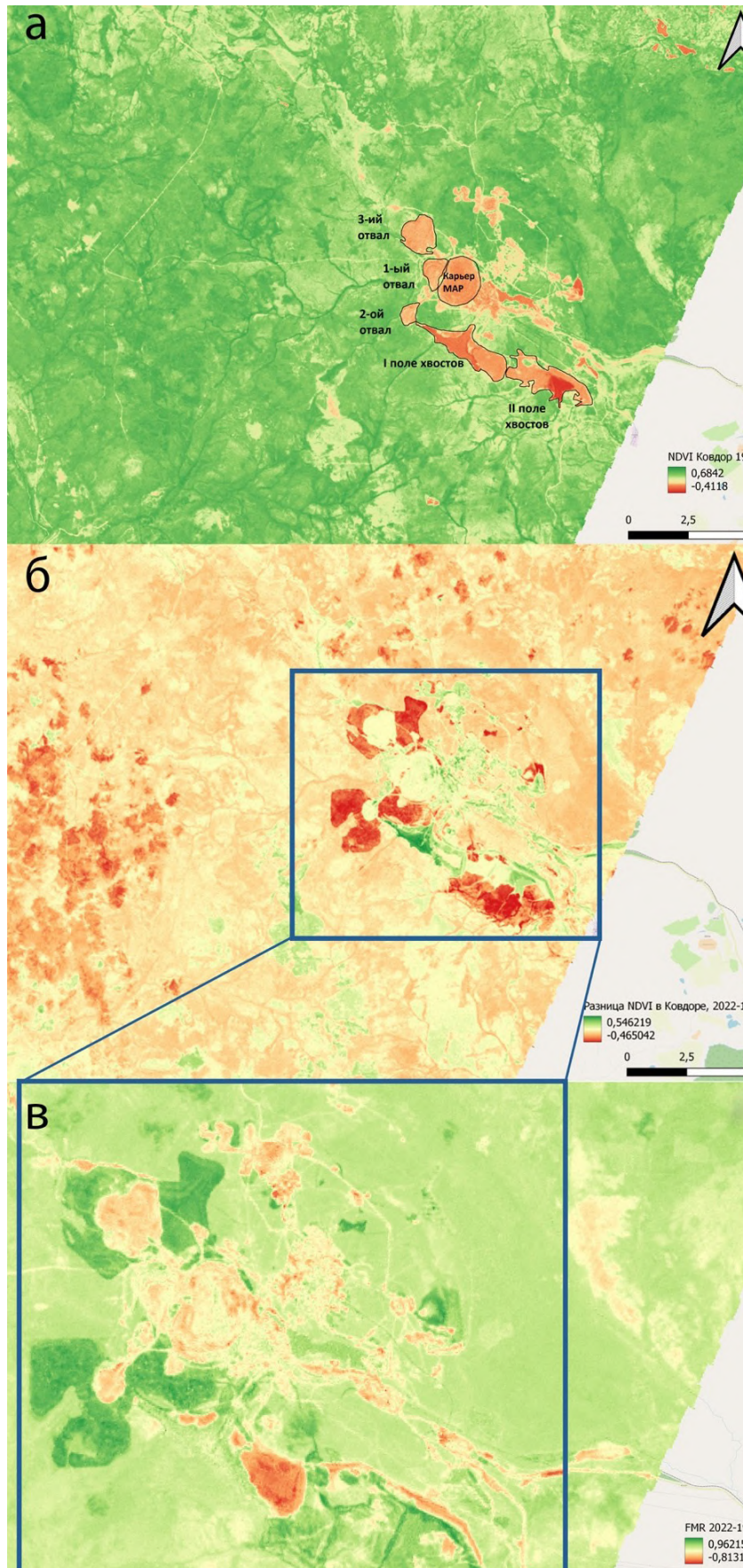


Рис. 1. Спектрональные спутниковые снимки Ковдорского ГОКа
 а – значения NDVI на снимке 1986 г;
 б – показатель разницы NDVI между снимками 1986 и 2022 гг;
 в – разность значений MNDVI на снимках 1986 и 2022 гг.

Железородный потенциал отвалов ГОКа.
 В настоящее время в хвостах Ковдорского месторождения накоплено большое количество железорудных отходов, которые могут использоваться как самостоятельное полезное ископаемое. Сейчас ГОК потребляет магнетит, добываемый из продуктивных горизонтов Ковдорского месторождения, однако, запасы магнетита неизбежно истощаются. По этой причине накопленное железо в хвостах может стать, в определенной степени, эффективным решением данной проблемы. Современные методы анализа спутнико-

вых снимков позволяют оценить распространение железа и его форму нахождения на исследуемой территории.

Сравнение Ferrous Minerals Ratio за 1986 и 2022 годы показало следующие результаты (рис. 2а-в):

Увеличение содержания железосодержащих минералов во всех трёх отвалах, в результате прямого повышения интенсивности показателя по данным ДЗЗ, связано с увеличением площади отвалов; резкое уменьшение содержания железистых минералов в первом хвостохранилище по отношению к 1986 г объясняется усовершен-

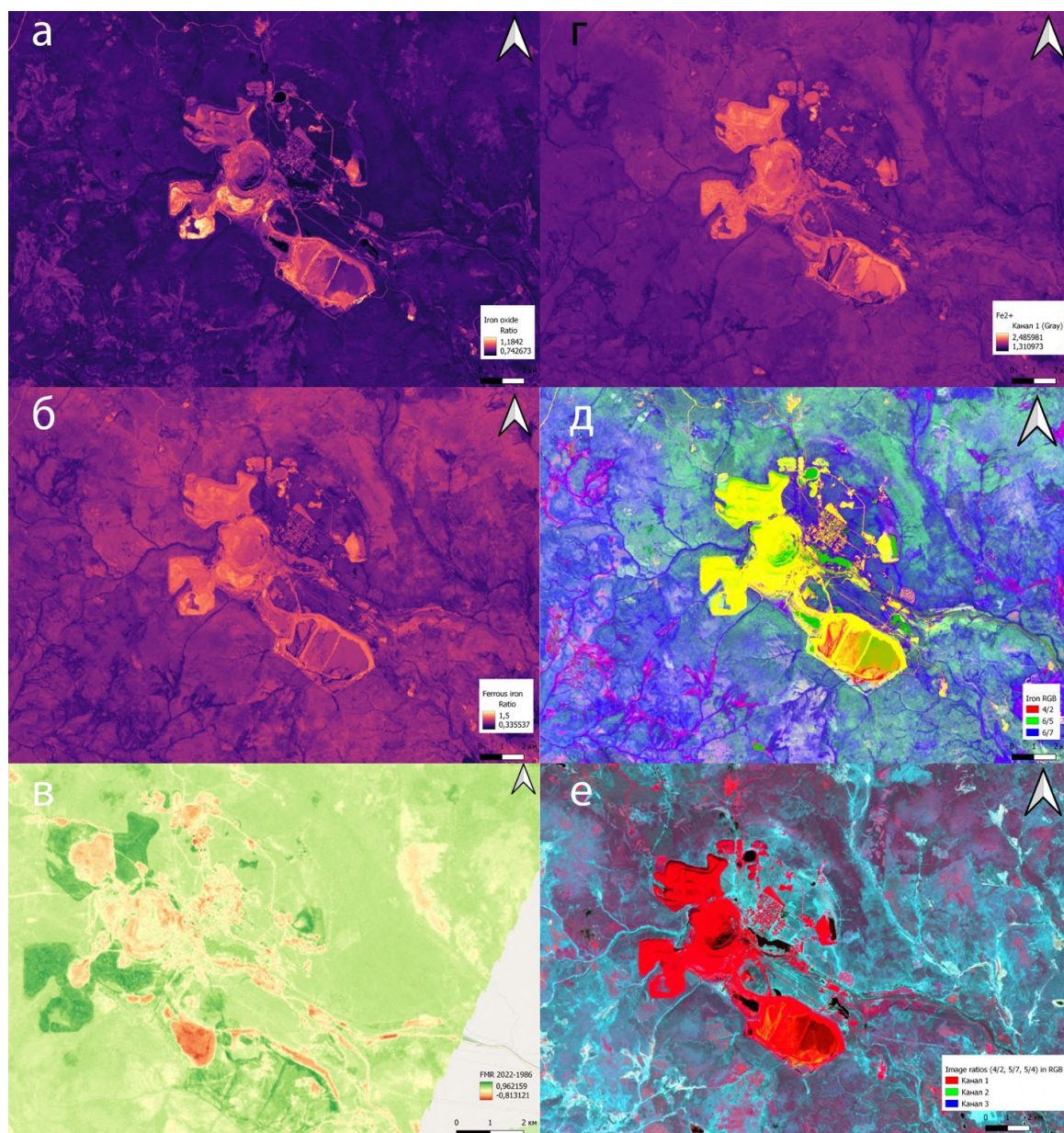


Рис. 2.
 Спектрональные спутниковые снимки Ковдорского ГОКа крупным планом.
 а – Ferrous Minerals Ratio, 1986 год; б – Ferrous Minerals Ratio, 2022 год; в – изменение индекса Ferrous Minerals Ratio с 1986 по 2022 год; г – интенсивность двухвалентного железа (Fe²⁺), 2022 год; д – RGB-композиция в «ложных цветах», созданная с целью картирования железа (Red – 4/2, Green – 6/5, Blue – 6/7); е – RGB-композиция в «ложных цветах» (Red – 4/2, Green – 5/7, Blue – 5/4)

ствованием технологии извлечения железа из руды; уменьшение содержания железа в карьере со временем говорит об истощении Ковдорского железорудного месторождения.

Вышеописанный показатель чувствителен к большинству типов преимущественно железных минералов (силикаты, оксиды и гидроксиды). Для уточнения химической формы нахождения железа в отвалах анализировалось распределение Fe^{3+} и Fe^{2+} . Трёхвалентное железо имеет неоднородное распределение и максимально интенсивные значения на снимках совпадают с соответствующими значениями показателя Ferrous Minerals Ratio. В отличие от трёхвалентного железа, содержание оксидов двухвалентного железа распределено практически равномерно: его содержание одинаково высоко во всех отвалах и в самом карьере (рис. 2г).

С целью наиболее точного обнаружения области, содержащей железо, был проведён анализ в комбинации RGB-каналов с использованием технологии «ложные цвета». Ложные цвета (псевдоцвета) – это методы визуализации, которые используются для отображения визуальной информации в цвете, которые были записаны в разных частях электромагнитного спектра (включая как видимую, так и невидимую его часть). В качестве красного спектра (Red) был использован Iron oxide (4/2) [8], в качестве зеленого спектра – 6/5 (Ferrous iron), в качестве синего спектра – 6/7 (Clay minerals) [5]. Горные породы, наиболее богатые железом, здесь отображаются жёлтым цветом, горные породы, содержащие небольшое количество железа – красным цветом, водные участки – зелёным цветом, а все остальные территории – серым цветом и его оттенками (рис. 2д).

Существует альтернативный способ определения содержания железа в горных породах [7]. Он также основан на технологии «ложных цветов», однако в качестве красного спектра (Red) здесь выступает соотношение 4/2, в качестве зеленого канала (Green), а в качестве синего спектра (Blue) – соотношение 5/4 (рис. 2е). Наиболее богатые железом горные породы отображаются красным цветом, породы, содержащие небольшое количество железа – жёлтым цветом, водные объекты – тёмно-коричневым или чёрным цветом, все остальные объекты – голубым либо бордовым.

Учитывая показатели Fe^{3+} , Ferrous Minerals Ratio и изменённые снимки с ложными цветами, отчётливо вырисовываются поля накопления магнетита, обогащённые по сравнению с «фоновыми содержаниями» в отвалах. Наиболее контрастным по содержаниям магнетита является первое поле хвостохранилища, где наблюдается максимальная разница интенсивностей соответствующих показателей.

Химический анализ проб. Исследование химического состава проводилось с целью проверки результатов ДЗЗ с соотношением содержания железа в отвалах. Такая проверка необходима в связи с тем, что спутниковые снимки дают возможность лишь сравнивать области друг с другом, но не дают возможности получать реальные содержания.

Геохимические пробы отбирались в пределах первого поля хвостохранилища из сухого материала. Всего было отобрано 6 проб в разных участках хвостохранилища (рис. 3).

Результаты химического анализа демонстрируют неоднородные содержания железа, в разных участках первого поля хвостохранилища содержа-



Рис. 3. Схема первого поля хвостохранилища с точками отбора проб 4/2, Green – 5/7, Blue – 5/4)

Таблица 1.

Химический анализ проб 1-го поля хвостохранилища по результатам рентгено-флуоресцентного анализа

Обр.	Al %	As ppm	Ba %*	Ca %	Cl %	Cr ppm	Cu ppm	Fe %	K %
№1	0,8	3	0,14	19,9	0,11	44	172	2,7	0,81
№2	1,0	2	0,15	17,6	0,12	40	139	3,4	1,01
№3	1,2	4	0,20	15,7	0,10	60	332	5,7	0,66
№4	1,3	3	0,18	16,0	0,09	43	246	4,1	0,83
№5	0,6	5	0,14	20,0	0,10	58	392	4,1	0,45
№6	0,5	4	0,15	22,1	0,11	59	660	2,9	0,50
Обр.	Mg %	Si %	Sn ppm	Sr %	Ti %	U ppm*	V ppm	Y ppm	Zr %
№1	9,8	5,6	9	0,25	0,11	24	41	32	0,11
№2	10,4	6,6	11	0,22	0,08	21	38	27	0,14
№3	10,5	7,7	8	0,20	0,18	31	65	29	0,16
№4	10,9	8,2	6	0,19	0,17	19	58	23	0,16
№5	9,0	5,3	11	0,24	0,14	39	61	31	0,17
№6	8,5	4,8	12	0,35	0,14	59	55	36	0,17

ния железа варьируют в два раза (*табл. 1*). При этом увеличение количества содержания железа, определённого с помощью рентгено-флуоресцентного анализа, совпадает с зонами увеличенной интенсивности показателей ДЗЗ.

Таким образом, методами интерпретации данных ДЗЗ действительно возможно различать распределение железа даже при относительно низких содержаниях, а также можно выделить потенциальные участки для проведения подробных разведочных работ на магнетитовое сырьё в пределах отвалов и хвостохранилищ Ковдорского ГОКа.

Заключение

За последние 36 лет экологическая нагрузка в районе Ковдорского массива в значительной степени увеличилась. Общая площадь нарушенных территорий (карьер, три отвала, два поля хвостов) превысила 31 км², что в несколько раз больше территории самого города Ковдора. В будущем эта площадь, вероятно, станет ещё больше и будет возрастать до тех пор, пока не будет закончена отработка Ковдорского месторождения. При этом по снимкам отмечается значительное пылевое загрязнение всей прилегающей территории в радиусе 20 км и значительное воздействие на речную систему района. Последние два фактора имеют накопительный эффект. По мере пылевого

загрязнения будет ухудшаться состояние почв, а из-за изменения речной системы данного района может поменять в принципе вся экосистема.

Очевидно, что отработка карьера с глубиной становится экономической менее эффективной, а объёмы отвалов с каждым годом увеличиваются в геометрической прогрессии. Однако, данное исследование показывает возможность:

1) возможность проведения методами ДЗЗ экологического мониторинга прилегающих к Ковдорскому месторождению территорий;

2) использование данных спутниковых снимков как одного из механизмов для поисков наиболее перспективных площадей для детальной разведки и последующей добычи железной руды из отвалов карьера.

Приведенные в исследовании результаты анализа космоснимков показали потенциальные участки накопления полезного компонента. Изучение и дальнейшая добыча железной руды из отвалов позволит уменьшить экологическое воздействие на окружающую среду, а также увеличит экономическую прибыль предприятия.

На основе имеющихся геохимических показателей возможно осуществлять фактическую привязку показателей ДЗЗ и получать полуколичественные содержания железа при интерпретации спектральных данных. ^(XXI)

Коллектив авторов благодарит всех сотрудников АО «Ковдорский ГОК», оказавших содействие в проведении студенческих производственных практик для сбора фактического материала, положенного в основу настоящего исследования.

Литература

1. Визигин Д.В. Исследование метода автоматизированного поиска месторождений полезных ископаемых по данным дистанционного зондирования земли на примере системы geomed3d // Россия молодая: передовые технологии – в промышленность. 2013. № 2. С. 14–16.
2. Грехнев Н.И., Липина Л.Н., Усиков В.И. К вопросу оценки экологического риска с использованием метода дистанционного зондирования земли // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2015. № 530. С. 437–447.
3. Пожиленко В.И., Гавриленко Б.В., Жиров Д.В. и др. Геология рудных районов Мурманской области. Апатиты: Изд. Кольского научного центра РАН, 2002. 359 с.
4. Стрекалова Т.А., Стрекалова В.А., Меренкова Е.С. Мероприятия, снижающие вредное воздействие отвалов на окружающую среду // Успехи современного естествознания. 2013. № 4. С. 118–121.
5. Amro F. A., Using Remote Sensing data to identify iron deposits in central western Libya // International Conference on Emerging Trends in Computer and Image Processing ICETCIP'2011.
6. Rouse J.W., Haas R.H., Schell J.A. et al. Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS. 3rd ERTS Symposium, NASA SP-351. 1973, P. 309-317.
7. Salem S.M., El Gamal E.A. Iron ore prospecting East Aswan, Egypt, using remote sensing techniques // Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science. 2015. № 78 (2). P.195–206.
8. Segal D. Theoretical Basis for Differentiation of Ferric-Iron Bearing Minerals, Using Landsat MSS Data // Proceedings of Symposium for Remote Sensing of Environment, 2nd Thematic Conference on Remote Sensing for Exploratory Geology. 1982. P. 949-951.
9. <https://glovis.usgs.gov/>

UDC: 528.8.04, BBC: 20.18, 26.34

Yuri A. Churikov, master student, Moscow State University, churikov@geol.msu.ru

A. A. Samsonov, PhD, Moscow State University, senior researcher, samsonov@geol.msu.ru.

V. T. Ishmukhametova, PhD, Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry of the Russian Academy of Sciences (IGEM RAS), senior researcher, geoivt@mail.ru

USING EARTH REMOTE SENSING DATA TO ANALYZE THE ENVIRONMENTAL STRESS AND ORE POTENTIAL OF TECHNOGENIC DUMPS OF THE KOVDORSKY GOK

Abstract: An assessment was made of changes in the soil cover and water resources of the area around the Kovdorsky GOK using the methods of mathematical comparison of satellite images taken in 1986 and 2022. Significant deterioration of the soil cover and its «dusting» as a result of exposure to harmful emissions generated during mining operations in quarries were revealed. Due to the construction of tailings, significant changes in the river system of the study area as a whole have been identified. At the same time, when analyzing satellite images of dumps and tailings of the Kovdorsky GOK, potential areas for exploration of an already technogenic iron deposit were identified.

Keywords: space remote sensing, Kovdorskoye deposit, processing of space images, soil and vegetation cover, man-made objects, environmental impact, satellite geology.



Churikov Yu.A.
Lomonosov Moscow State University (MGU),
postgraduate student
churikov@geol.msu.ru



Samsonov A.A.
PhD, MGU, Senior Researcher
samsonov@geol.msu.ru



Ishmukhametova V.T.
PhD, Institute of Geology of Ore
Deposits, Petrography, Mineralogy and
Geochemistry, Russian Academy of
Sciences (IGEM), Senior Researcher
geovt@mail.ru

APPLICATION OF THE EARTH REMOTE SENSING DATA FOR ANALYZING THE ECOLOGICAL STRESS AND ORE POTENTIAL OF TECHNOGENIC DUMPS OF THE KOVDOR MPP

Changes in the soil cover and water resources of the Kovdor MPP area are analyzed based on the mathematical comparison of satellite images taken in 1986 and 2022. Significant pollution of the soil cover related to the hazardous dust emission during mining operations in quarries was revealed. Notable changes in the river system due to the construction of tailings have been identified in the study area. Analysis of the satellite images of mine dumps and tailings of the Kovdor MPP, however, revealed promising areas for the exploration of a technogenic iron deposit.

Ключевые слова: space remote sensing, Kovdor deposit, processing of space images, soil and vegetation cover, technogenic objects, ecological stress, satellite geology.

Until the 1920s, large-scale mining activities were not carried out in the Murmansk region. The main inhabitants of the Kola Peninsula were the Sami people and Russian Pomors engaged, respectively, in reindeer husbandry and fishing. However, the situation changed dramatically in 1921, when academician E.A. Fersman discovered apatite deposits in the Khibiny, and deposits of many other types of minerals were also discovered here a few years later (Pozhilenko et al., 2002). Among them, the Kovdor iron ore deposit was discovered

in 1933. Soon, the development of new areas began throughout the peninsula: the first quarries along with mining and processing plants appeared. However, ecological stress on the Kola Peninsula increased along with the development of industry: the mining of raw materials from quarries provoked the formation of mine dumps and tailings, and the processing of minerals at the mining and processing plants generated huge pollutant emissions into all environmental components: atmospheric air, water and soil. As is known, mine dumps, in turn,

not only occupy a certain natural area covered by plants in the past, but also have a significant negative environmental impact: dust emission, water and wind erosion, subsidence, and landslide (Strekalova et al., 2013). In addition to ecological issues, reduction of the resource potential of the Kovdor MPP is also urgent at present.

Modern techniques of the Earth remote sensing (ERS), which make it possible to determine effectively the ecological stress in different regions (Grekhnev, 2015), can also be applied successfully in the prospecting and exploration of mineral deposits (Vizigin, 2013). However, application of the ERS data is complicated significantly by the presence of abundant vegetation, as well as thick alluvial and eluvial deposits. From this point of view, the Kola Peninsula is convenient for the application of ERS methods due to scanty flora. Besides, the study and interpretation of data obtained by these methods in the mine tailings and dumps completely devoid of forest cover can be most efficient.

The present work is aimed at analysis based on the interpretation of spectral data from satellite images, ecological impact on the territory under consideration and the potential use of the Kovdor MPP dumps as technogenic sources of iron ore.

Materials and methods

To assess the dynamics of changes in the state of the soil and vegetation cover of the Kovdor massif, we used images obtained by Landsat satellites launched into orbit by the NASA and USGS. The Landsat satellite images have a spatial resolution of 30 m and spectral range of 0.4-1.1 μm . These images are multispectral: 7, 8, and 11 spectral channels, respectively, in Landsat-5, Landsat-7, and Landsat-8 images. The channel represents a spectral range located at a certain frequency of the electromagnetic spectrum. Moreover, the spectral range can be both visible (red, green, blue) and invisible (near-infrared and short-wavelength infrared) to the human eye.

The Landsat program has the most extensive library of satellite images: satellite images from 1973 to 2022 inclusive are available on the *GloVis USGS portal* (<https://glovis.usgs.gov/>).

During the preprocessing, atmospheric correction was carried out based on the QGIS Semi-Automatic Classification Plugins using the Dark-Object Substraction (DOS) method. The processing of satellite images (calculation of vegetation and geological indices) was accomplished in the SAGA-GIS system. The spatial reference of scanned images, comparison of the spatiotemporal data, and compilation of maps were carried out in the ArcGIS system.

The multispectral Landsat-5 (July 26, 1986) and Landsat-8 (July 21, 2022) satellite images were used

to track changes in the soil and vegetation cover of the Murmansk region.

Dynamics of the state of the soil and vegetation cover was calculated using the algorithm for the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) reported in (Rouse, 1973):

$$NDVI = \frac{NIR+RED}{NIR-RED} \quad (1)$$

where NIR and RED is the near-infrared and red channel, respectively.

This formula is based on the following fact: high photosynthetic activity associated with the growth of dense vegetation provokes a decrease of the object reflectance in the red zone of the spectrum (RED) and, conversely, an increase of reflectance in the near-infrared channel (NIR). The formula for calculating NDVI is arranged in such a way that, unlike some other vegetation indices, its value is always in the range from 1 to -1. Therefore, this index is convenient both for comparing the spatiotemporal state of vegetation and for identifying the state of vegetation cover depending on the NDVI value. According to the degree of green biomass development based on the universal scale of the summer time values, values less than 0 suggest the technogenic structures (concrete); values from 0 to 0.2, absence of vegetation; and 0.3-1, presence of green biomass (0.3 and 1 corresponds, respectively, to weak and maximum development).

The alternative Modified Normalized Difference Index (MNDVI) is also used for water. Water has positive values in this case, in contrast to negative values in the similar NDVI index. Index MNDVI can be used to detect the shallowing or, conversely, expansion of the reservoir and watercourse area, track the appearance or disappearance of tailings, and detect the groundwater seepage into the quarry.

This index is calculated by the following equation:

$$MNDWI = \frac{GREEN-SWIR2}{GREEN+SWIR2} \quad (2)$$

where GREEN and SWIR2 designate the green and short-wavelength infrared channel, respectively.

To assess the Fe distribution in mine dumps and tailings, we applied calculation coefficient based on the Ferrous Minerals Ratio, as well as the direct recomputation of spectral data for Fe^{2+} and Fe^{3+} .

$$FerrousMineralsRatio = \frac{SWIR-1}{NIR} \quad (3)$$

where SWIR-1 and NIR designate the short-wavelength infrared and near-infrared channel, respectively.

The Ferrous Minerals Ratio (FMR) represents a geological index designed to determine the

characteristics of rocks containing some amount of Fe-bearing minerals based on the SWIR and NIR values.

$$Fe^{3+} = \frac{Red}{Green} \quad (4)$$

where RED and GREEN designate the red and green channel, respectively.

$$Fe^{2+} = \frac{SWIR - 2}{NIR} + \frac{Green}{Red} \quad (5)$$

where RED and GREEN designate the red and green channel, respectively; SWIR-2 and NIR, the short-wavelength infrared and near-infrared channel, respectively.

In the mine dumps and tailings, we took check samples to analyze the chemical composition. All samples were dried and crushed to the analytical powder state (fraction <math> <0.063 \mu\text{m}</math>). The chemical analysis was carried out using Niton FXL 950 XRF analyzers by senior researcher Lubkova T.N. (Department of Geochemistry, Geological Faculty, MGU).

Results

Ecological appraisal. Analysis of the satellite image taken in July 2022 and its comparison with the reference image taken in July 26, 1986 (Figs. 1a-1b) showed that notable changes occurred in the landscape over 36 years in the Kovdor iron ore deposit and adjacent areas. In particular, the quarry area (2.88 km² in 1986) has increased significantly. Activity of the mining and processing industry (quarry development) is linked inextricably with the formation of mine dumps and tailings in the adjacent areas, where three dumps and two tailings (total area 9.03 km²) were formed during the considered time interval (Fig. 1b). In addition, analysis of the images revealed that the entire surrounding area is enriched in Fe due to appreciable dust pollution over 20 km around the quarry during this period (Fig. 1b).

Based on the comparison of MNDVI values, we can draw the following conclusions.

1) There was no water within the quarry in 1986. According to the 2022 image, however, water is present at the quarry bottom, indicating the penetration of groundwater into the quarry as a result of its significant deepening. At the same time, it is noticeable that the surrounding rivers became significantly shallower. In order to continue mining operations, the Kovdor MPP installed hydraulic power stations that pump water from the quarry bottom into Lake Kovdor.

2) In 1986, the tailing field 1 was functioning normally. In 2022, however, the MNDWI value decreased sharply due to drainage of the tailing and subsequent mining of the apatite- and baddeleyite-rich raw materials.

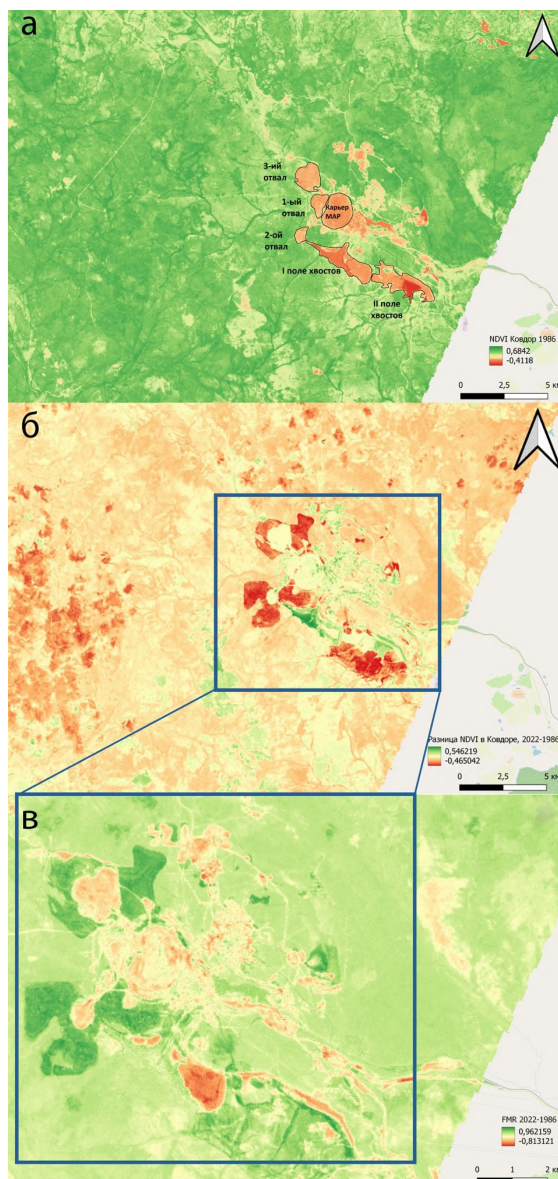


Fig. 1. Spectrozonal satellite images of the Kovdor MPP. a – NDVI values in the image taken in 1986; b – indicator of the NDVI difference between the images taken in 1986 and 2022; c – MNDVI values in images taken in 1986 and 2022.

Iron ore potential of tailings in the Kovdor MPP. Currently, a large amount of iron ore waste, which can be used as an independent raw material, has been accumulated in tailings of the Kovdor deposit. At present, the Kovdor MPP consumes magnetite extracted from the productive horizons of the Kovdor deposit. However, the magnetite reserves will gradually be depleted inevitably. Therefore, iron accumulated in the tailings can be exploited to solve this problem effectively to a certain extent. Modern methods of the satellite image analysis allow us to assess the distribution of Fe and its occurrence mode in the study area.

Comparison of the FMR values in 1986 and 2022 yielded the following results (**Figs. 2a-2c**):

Increase in the content of Fe-bearing minerals in all three dumps, due to a direct growth of the indicator according to the ERS data, is associated with an expansion of dumps. The dramatic decrease in the content of ferrous minerals in the first tailings relative to 1986 is explained by improvement of the technology of Fe extraction from ore. Decrease in the Fe content in the quarry over time indicates a depletion of the Kovdor iron ore deposit.

The above indicator is sensitive to most types of predominantly Fe-containing minerals (silicates,

oxides and hydroxides). The distribution of Fe^{3+} and Fe^{2+} was analyzed to specify the chemical form of Fe in the dumps. The trivalent Fe is marked by a heterogeneous distribution, and its maximum intensity in the images coincides with the corresponding FMR values. Unlike the trivalent iron, the content of ferrous oxides is distributed almost evenly: its content is equally high in all dumps and in the quarry itself (**Fig. 2d**).

For the most accurate detection of the Fe-containing area, we carried out an analysis with the combination of RGB channels using the «false color» (pseudo-color) technique that implies

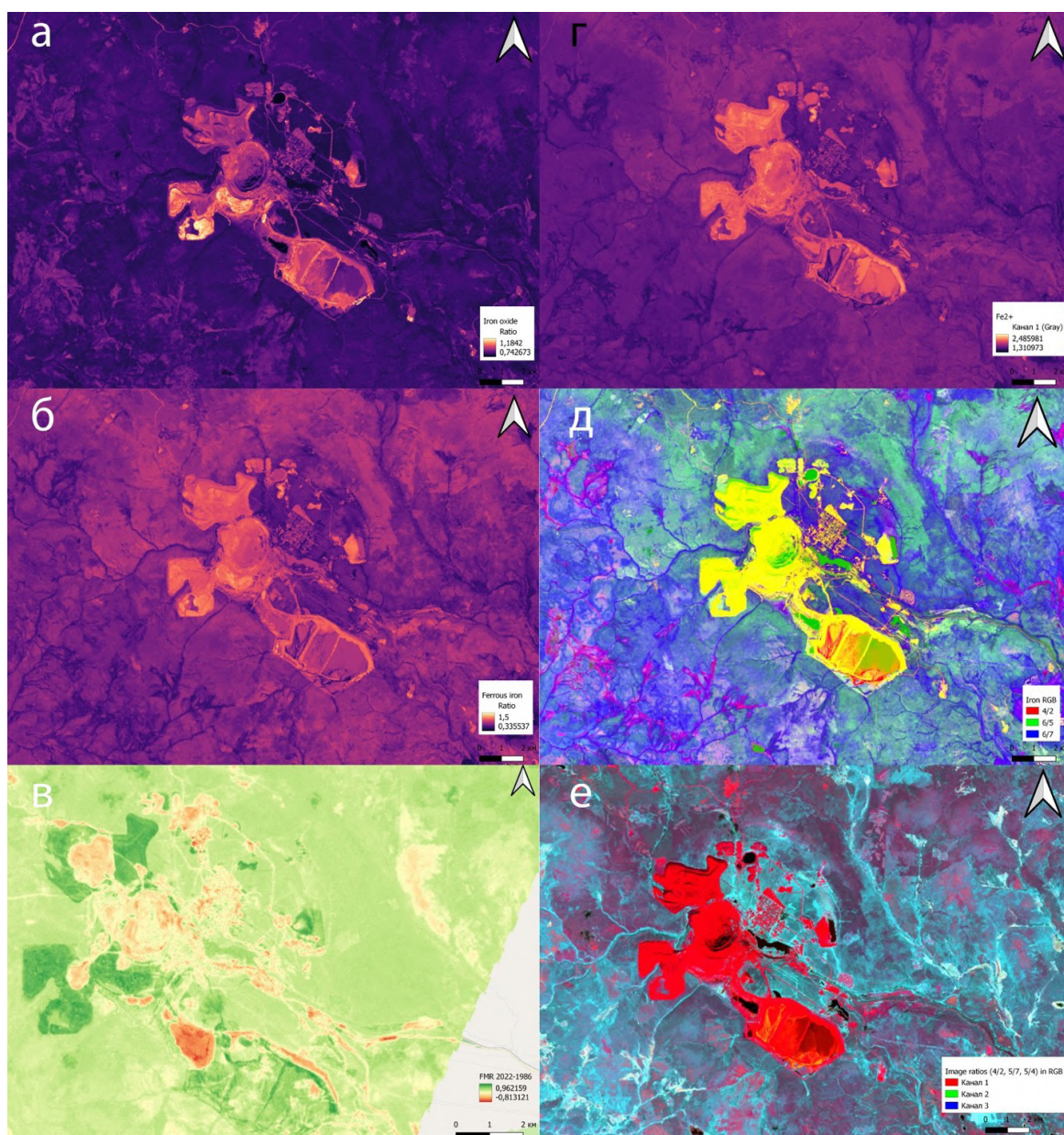


Fig. 2.

Closeup spectrozonal images of the Kovdor MPP.

a – FMR in 1986; b – FMR in 2022; c – change of FMR in 1986–2022; d – intensity of Fe^{2+} in 2022; e – «false color» RGB composition created to trace the Fe distribution (Red – 4/2, Green – 6/5, Blue – 6/7); f – «false color» RGB composition (Red – 4/2, Green – 5/7, Blue – 5/4)

visualization methods applied widely to display the visual information in color recorded in different parts of the electromagnetic spectrum (including its both visible and invisible parts). Iron oxide (4/2) was used as the Red spectrum (Segal, 1982); ferrous iron (6/5), as the Green spectrum; and clay minerals (6/7), as the Blue spectrum (Amro, 2011). Rocks with the highest Fe content are shown here in Yellow; rocks containing a small amount of Fe, in Red; water areas, in Green; and all other areas, in Blue and its shades (**Fig. 2e**).

There is an alternative method to determine the Fe content in rocks (Salem and El Gamal, 2015). This method is also based on the «false color» technology. However, ratio 4/2 here is used as the Red spectrum; ratio 5/4, as the Green spectrum; and ratio 5/4, as the Blue spectrum (**Fig. 2e**). Rocks with highest Fe content rocks are shown in Red; rocks containing a small amount of Fe, in Yellow; water bodies, in Dark Brown or Black; and all other objects, in Blue or Burgundy Red.

Taking into account the indicators of Fe³⁺ along with the FMR value and «false color» images, we can outline clearly the fields enriched with magnetite in comparison with the «background contents» in the dumps. In terms of the magnetite content, most contrasting is the tailing field 1 marked by the maximum difference in intensities of the corresponding indicators.

Chemical composition of samples. The chemical composition was examined to verify the ERS results with the ratio of Fe content in the dumps. Such verification is necessary, because satellite images only make it possible to compare areas with each other, but do not make it possible to obtain the real contents.

The geochemical samples were taken within the tailing field 1 from a dry material. In total, we took six samples in different areas of the tailing (**Fig. 3**).

The results of the chemical analysis demonstrate inhomogeneous the Fe content varies twofold in different parts of the tailing field 1 (**Table 1**). At the same time, increase in the Fe content determined by the X-ray fluorescence analysis coincides with the zones of increased ERS intensity.

Thus, the methods of ERS data interpretation indeed make it possible to distinguish the Fe distribution even at relatively low contents and to identify potential sites for the detailed exploration for magnetite raw materials within the dumps and tailings of the Kovdor MPP.

Conclusion

Over the past 36 years, the ecological stress in the Kovdor massif area has increased significantly. Total area of the polluted zones (quarry, three dumps, and two tailing fields) exceeded 31 km², which is several times more than the area of the city of Kovdor itself. In the future, the polluted area will likely expand until the development of the Kovdor field is completed. At the same time, the images show a significant dust pollution of the entire adjacent area within a radius of 20 km and a considerable impact on the river system of the region. The last two factors have a cumulative effect. As the dust pollution worsens, the soil condition will deteriorate, and the entire ecosystem can actually deteriorate due to changes in the river system of this region.

It is obvious that the quarry mining becomes less economical and less efficient with depth, and the volume of dumps increases exponentially every year. However, this study brings up the following issues:

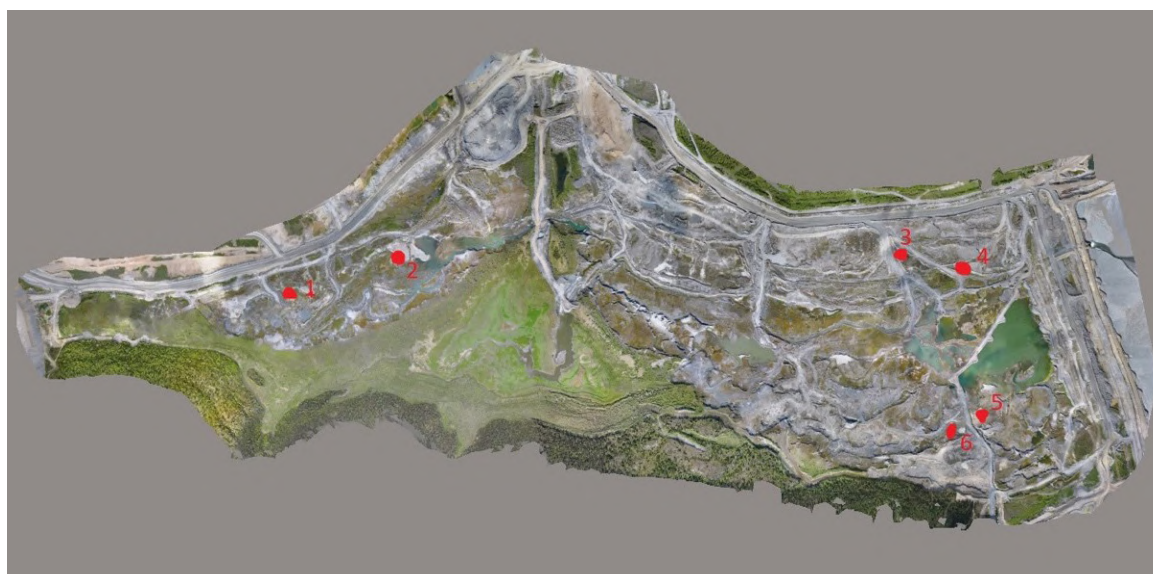


Fig. 3.
Scheme of the tailing field 1 showing the sampling sites

Table 1.*Chemical composition of samples from the tailing field 1, based on the XRF analysis*

Sample no.	Al, %	As, ppm	Ba, %*	Caж, %	Cl, %	Cr, ppm	Cu, ppm	Fe, %	K, %
1	0.8	3	0.14	19.9	0.11	44	172	2.7	0.81
2	1.0	2	0.15	17.6	0.12	40	139	3.4	1.01
3	1.2	4	0.20	15.7	0.10	60	332	5.7	0.66
4	1.3	3	0.18	16.0	0.09	43	246	4.1	0.83
5	0.6	5	0,14	20,0	0,10	58	392	4.1	0.45
6	0.5	4	0.15	22.1	0.11	59	660	2.9	0.50
Sample no.	Mg, %	Si, %	Sn, ppm	Sr, %	Ti, %	U, ppm*	V, ppm	Y, ppm	Zr, %
1	9.8	5.6	9	0.25	0.11	24	41	32	0.11
2	10.4	6.6	11	0.22	0.08	21	38	27	0.14
3	10.5	7.7	8	0.20	0.18	31	65	29	0.16
4	10.9	8.2	6	0.19	0.17	19	58	23	0.16
5	9.0	5.3	11	0.24	0.14	39	61	31	0.17
6	8.5	4.8	12	0.35	0.14	59	55	36	0.17


1) necessity of the ecological monitoring of areas adjacent to the Kovdor deposit by the ERS methods;

2) application of the satellite image data as a prospecting mechanism in the most promising areas for the detailed exploration and the subsequent iron ore mining from the quarry dumps.

The results of the analysis of satellite images presented in our work revealed potential areas with the useful component accumulation. The study and further mining of iron ore from dumps will make it possible to reduce the ecological impact

on the environment and to enhance the economic performance of the Kovdor MPP.

Based on the available geochemical data, it is possible to carry out the actual correlation of the ERS indicators and to estimate the semi-quantitative Fe contents when interpreting the spectral data.

The authors thank all workers of the Kovdor MPP who helped the accomplishment of our field works and the collection of factual material used in the present work. 

References

- Amro F. A. Using Remote Sensing data to identify iron deposits in central western Libya, in Int. Conf. on Emerging Trends in Computer and Image Processing ICETCIP'2011. GloVis USGS portal. <https://glovis.usgs.gov/>
- Grekhnev N.I., Lipina L.N., and Usikov V.I. Assessment of ecological risk by the Earth remote sensing method, in Gornyi Informatsionno-Analticheski Byulletin (Scientific-Technical Journal), 2015, no. S30, pp. 437-447.
- Pozhilenko V.I., Gavrilenko B.V., Zhiron D.V., et al. Geology of Ore Deposits in the Murmansk Region, Apatity: Kola Sci. Center, Russ. Acad. Sci., 2002, 359 p. (in Russian).
- Rouse J.W., Haas R.H., Schell J.A., et al. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS, in 3rd ERTS Symp., NASA SP-351, 1973, pp. 309-317.
- Salem S.M. and El Gamal E.A. Iron ore prospecting East Aswan, Egypt, using remote sensing techniques, in Egypt. J. Remote Sensing and Space Science, 2015, no. 78 (2), pp.195-206.
- Segal D. Theoretical basis for differentiation of ferric-iron bearing minerals, using Landsat MSS data, in Proc. Symp. for Remote Sensing of Environment, 2nd Thematic Conf. on Remote Sensing for Exploratory Geology, 1982, pp. 949-951.
- Strekalova T.A., Strekalova V.A., and Merenkova E.S. Measures to reduce the hazardous impact of dumps on the environment, in Uspekhi Sovremennogo Estestvoznaniya, 2013, no. 4, pp. 118-121.
- Vizigin D.V. Study of the method of automatic prospecting for mineral deposits based on the Earth remote sensing: Evidence from the GeoMed3d system, in Rossiya Molodaya: Advanced Technologies in Industry, 2013, no. 2, pp. 14-16.



Нерадовский Л. Г.
д-р техн. наук
ФГБУН «Институт мерзлотоведения им.
П.И. Мельникова» СО РАН
старший научный сотрудник
лаборатории инженерной геокриологии
L031950N@ia.ru

ПСЕВДОКАРОТАЖ ПРОЧНОСТИ ОСАДОЧНЫХ ПОРОД В ЮЖНОЙ ЯКУТИИ НА СТАНЦИИ «КЮРГЕЛЛЯХ» ПО ДАННЫМ МЕТОДА ГЕОФИЗИКИ

По результатам ретроспективного анализа фактического материала инженерно-геологических изысканий, полученного в Южной Якутии на станции «Кюргеллях», методом дистанционного индуктивного зондирования впервые выполнен псевдокаротаж прочности осадочных пород на частоте 0,281 МГц в переходной зоне разноса 5-100 м. Установлен общий рост с глубиной прочности пород. В области выветривания прочность растёт от 27,43-32,43 до 35,27-42,23 МПа одинаково медленно в тектонических зонах дробления, трещиноватости и вне их с градиентом 0,549-0,633 МПа/м. Ниже, в относительно сохранной части пород до глубины 18,4-23,4 м прочность пород в аналогичных зонах растёт, быстро достигая 84,47-100,07 МПа с почти равным аномальным градиентом 14,456 и 11,568 МПа/м. Граница смены градиентов на глубине 16,3 и 19,8 м идентифицируется как нижняя граница слоя годовых теплооборотов с разными тепловыми свойствами пород. Полученные значения градиентов рекомендуются применять в экспериментальном порядке в Южной Якутии для решения задач прогноза проектно-строительными, изыскательскими и горнодобывающими организациями на разных стадиях изучения прочности осадочных пород, слагающих скально-полускальные основания инженерных сооружений.

Ключевые слова: Станция; изыскания; слой годовых теплооборотов; осадочные породы; прочность; водонасыщенное состояние; метод дистанционного индуктивного зондирования; частота 1,125 и 0,281 МГц; эффективная глубина.

Настоящая статья написана с целью дополнения к ещё не опубликованным результатам эксперимента, которые в настоящее время находятся на рецензировании в редакции журнала «Науки о Земле и недропользование». В статье представлен результат ретроспективного анализа фактического материала инженерно-геологических изысканий, полученного в 90-х годах прошлого века на проектируемой в Республике Саха (Якутия) станции «Кюргеллях» Амуро-Якутской железнодорожной магистрали (АЯМ).

Материал получен базовыми по Якутии трестами НПО «Стройизыскания» Госстроя РСФСР. Это – Южно-Якутский трест инженерно-строительных изысканий (ЮжЯкутТИСИЗ) и Якутский трест инженерно-строительных изысканий (ЯкутТИСИЗ). В настоящее время ЯкутТИСИЗ перестал осуществлять свою деятельность по причине финансового банкротства, а ЮжЯкутТИСИЗ успешно продолжает свою деятельность в Южной Якутии, но уже как ООО «Нерюнгри-стройизыскания».

Дополнение к отмеченной статье касается в рассматриваемый период времени обобщённых представлений о характере изменения по глубине в слое годовых теплооборотов прочности будущего основания инженерных сооружений – мёрзлых осадочных пород. То есть того, до сих пор слабо изученного интервала глубины, который охватывает в границах обозначенного слоя сферу теплового и механического взаимодействия мёрзлых пород с инженерными сооружениями. О первостепенной важности слоя годовых теплооборотов для наук о Земле и индустрии строительства писал А.Т. Акимов, называя этот слой «фабрикой криогенных процессов» [1].

В отличие от промысловой геофизики, в которой измерения по стенкам скважин, например, электрического сопротивления называют электрокаротажем, определение этой или иной характеристики грунтового-геологической среды методами наземной геофизики, т.е. с поверхности Земли называется псевдокаротажем.

В качестве метода псевдокаротажа прочности осадочных пород был выбран один из методов геоэлектрики на переменном токе – метод дистанционного индуктивного зондирования (ДИЗ). С его помощью изучалось затухание в слое годовых теплооборотов высокочастотного гармонического поля вертикального магнитного диполя (ВВМД). Значения затухания поля ВВМД служили входными данными для модифицированной модели [19] г. Нерюнгри [18]. По ней определялись средние значения прочности массива осадочных пород в прогнозируемом водонасыщенном состоянии, которое наиболее неблагоприятно для строительства и эксплуатации инженерных сооружений. Графики изменения по глубине этих значений и представляли собой псевдокартаж методом ДИЗ.

Участок и условия проведения эксперимента

Для постановки эксперимента была выбрана площадка жилого посёлка станции «Кюргеллях». Сама станция расположена в 572 км от административного центра Южной Якутии г. Нерюнгри в северо-восточном направлении к г. Якутску – столице Якутии.

В геоморфологическом отношении станция находится на водоразделе ручьёв Орто-Тала и Аччый-Тала на высоте над уровнем моря 513-529 м.

По данным изысканий территория станции отличается сложными условиями строительства и эксплуатации инженерных сооружений. Эти локально-местные условия типичны для всей криолитозоны Южной Якутии [24] и проявляют себя в сочетании деструктивного влияния 3-х процессов, усиливающих естественную изначальную структурно-петрофизическую неоднородность литогенной основы в части изменчивости её прочностного состояния. Это – тектонический процесс [2], экзогенные процессы, включая, мощный по разрушительной силе криогенный метаморфизм [8, 17] и процесс промерзания. По данным М.Н. Железняк [7] мерзлотный фактор проявляет себя в разных типах промерзания пород с образованием сложной по строению и изменчивой во времени вечной, многолетней и сезонной прерывисто-островной мерзлоты. В целом, в пределах Южной Якутии мощность и температура мёрзлых пород закономерно изменяется в зависимости от высоты над уровнем моря поверхности рельефа местности. На обширном водораздельном локально возвышенном пространстве мезозойских впадин мощность мерзлоты уменьшается до 20-50 м с повышением температуры до $-(0,1 \div 0,5)^\circ\text{C}$. В локальных понижениях рельефа, на склонах северной экспозиции и пойме рек возникает обратная закономерность: мощность мерзлоты увеличивается до первых сотен метров, а температура понижается до $-(1 \div 5)^\circ\text{C}$. Этому в существенной мере способствует зимняя температурная инверсия с опусканием в речные впадины плотного и тяжёлого морозного воздуха с температурой до $-(30 \div 50)^\circ\text{C}$.

На площадке жилого посёлка станции «Кюргеллях» по данным одноразовой термометрии изыскательских скважин температура осадочных пород в нижней части слоя годовых теплооборотов на глубине 10 м изменялась от $-0,3$ до $-1,1^\circ\text{C}$ при среднем значении $-0,8^\circ\text{C}$. При такой температуре, заполненные глинистым и льдистым материалом, сильновыветренные и раздробленные породы до состояния «разборной скалы» или «рухляка» находились в твёрдомёрзлом или пластичномёрзлом состоянии. Сильнотрещиноватые породы с небольшим содержанием глинистых частиц и льда находились в состоянии близком к морозному состоянию. Слаботрещиноватые породы с открытыми пустыми или закрытыми трещинами волосяного типа вскрывались бурением скважин в воздушно-сухом морозном состоянии. В этом состоянии, и это хорошо известно, прочность всех пород с кристаллизационной структурной связью почти не зависит от температуры. Более того, породы такого типа и, в частности, очень прочные осадочные породы с $R_c > 120$ МПа [5], практически перестают влиять на затухание поля ВВМД. Такая ограниченность предьявляет жёсткие и не всегда выполнимые в природных условиях и тем более, на застроенных территориях требования к методу ДИЗ в части определения меры или степени затухания поля ВВМД с ошибкой не выше 10 %. Иначе установить достоверные изменения прочности выше 120 МПа невозможно [18].

Скважины на площадке жилого посёлка размером 600 на 600 м² были пробурены ЯкутТИСИЗ осенью 1990 г. При расстоянии между 25 пробуренными скважинами равном 150 м глубина бурения не превышала 10-12 м.

По данным буровых работ основание инженерных сооружений жилого посёлка сложено мёрзлыми нижнекембрийскими карбонатными осадочными породами Олекминской свиты в виде переслаивания доломитов и известняков. Последние имеют подчинённое значение. Сверху породы повсеместно покрыты чехлом наносов – делювиально-элювиальных образований четвертичного возраста (суглинками с примесью дресвы, щебня и гравия осадочных пород). Мощность чехла 0,4-2,1 м. Более древний элювий кайнозойского или палеозойского возраста состоит из ярко-красных и жёлтых хорошо отсортированных плотных песчаных глин. Эти образования распространены в границах тектонических нарушений заполняя их до глубины 4,5-8,6 м и более метров.

Отличительной чертой не только древнего элювия, но и всего массива осадочных пород, является высокое объёмное содержание глинистых частиц. Эта особенность доломитов и известняков на станции «Кюргеллях», как и доломитов на участке АЯМ между станцией «Верхняя Амга» и разъездом «Болотный» [20] приводит к нарушению теоретически обоснованного и подтверждённого практикой геофизики и радиофизики общего правила. В соответствии с ним изменение в условиях *in situ* эффективных значений электрофизических характеристик должно быть согласованным. А именно, рост мнимой части комплексной относительной диэлектрической проницаемости, который регулируется электрической проводимостью пород, должен вызывать рост вещественной части проницаемости. В рассматриваемом случае общее правило нарушается и по данным метода ДИЗ, и по данным метода дискретной георадиолокации, которая выполнялась вместе с методом ДИЗ и методом дипольного электромагнитного профилирования на 3-х разносах с аппаратурой «ЭРА-625М».

Оставим без рассмотрения частные причины нарушения общего правила. Вопрос этот интересен, но излишний для настоящей статьи.

Вернёмся к изыскательским работам и завершим их описание в части методики изучения прочности осадочных пород. Она осуществлялась в грунтовой лаборатории ЯкутТИСИЗ в соответствии с правилами и требованиями, предъявляемых ГОСТ 21135.2-84 [3] к изготовлению и испытанию образцов скально-полускальных грунтов. Образцы готовились из монолитов осадочных пород, отобранных из керна скважин на глубине 0,8-11 м. Схема отбора была также

стандартной и предусматривала неравномерное избирательное изучение или опробование прочности массива осадочных пород. Такая схема была принята в прошлом веке в НПО «Стройизыскания» Госстроя РСФСР из соображений достижения оптимальности основных геолого-экономических показателей. В их число входили показатели качества, информативности, производительности и стоимости инженерно-геологических изысканий [16].

Прочность массива осадочных пород оценивалась по лабораторным данным, опираясь на средние значения, широко применяемой в отечественном грунтоведении и зарубежной геотехнике, характеристики R_c – временного предела прочности на одноосное сжатие в воздушно-сухом и водонасыщенном состоянии.

Методика эксперимента

Эксперимент с ретроспективным анализом данных метода ДИЗ, полученных на станции «Кюргеллях», выполнен в рамках госбюджетного финансирования в лаборатории инженерной геокриологии Института мерзлотоведения им. П.И. Мельникова по проекту СО РАН «Устойчивость природно-технических систем в криолитозоне и разработка технологий использования криогенных ресурсов». Регистрационный номер АААА-А20-120111690011-9.

Полевые работы выполнялись в опытно-производственном порядке летом 1991 г. после получения из НПО «Сибцветметавтоматика» (г. Красноярск) новой и уникальной на тот период времени аппаратуры «СЭМЗ». Вид этой аппаратуры показан на **рис. 1**, где она расположена на бетонной отмостке фундамента строящегося инженерного сооружения на конечной станции АЯМ «Нижний Бестях». К сожалению, сфотографировать аппаратуру при работе с ней на станции «Кюргеллях» не представилась возможность.

Работа методом ДИЗ производилась геофизиками ЯкутТИСИЗ и ЮжЯкутТИСИЗ с учётом рекомендаций геофизиков НПО «Якутзолото» Измерения с аппаратурой «СЭМЗ» выполнены в точках скважин и между ними при расстоянии от 50 до 100 м. Порядок измерений поля ВВМД описан в инструкции к аппаратуре «СЭМЗ» [13] и в обзорной работе красноярских геофизиков В.И. Иголкина и др. [9].

Измерения в точках ДИЗ выполнены в 4-х азимутах (север-юг; восток-запад) на частоте 1,125 и 0,281 МГц с разносом 5-100 м. Термином «разнос» в методе ДИЗ называют расстояние между неподвижно стоящей антенной, излучающей первичное поле ВВМД на заданной неизменяемой частоте и перемещаемой антенной, которая принимает суммарное первичное и вторичное поле ВВМД. Результат приёма поля

передаётся по экранированному соединительному кабелю для измерения в микровольтметр. Заметим, что вторичное поле ВВМД есть результат возникновения в грунтово-геологической среде токов индукции или как их ещё называют «вихревых токов».

В ходе работ методом ДИЗ в 5 точках зондирований, расположенных по углам и центру площадки жилого посёлка станции «Кюргеллях», измерялись все составляющие эллипса поляризации поля ВВМД. Перечислим их по порядку:

- 1) вертикальная составляющая (Hz);
- 2) горизонтальная составляющая (Hr);
- 3) длина большой оси (a);
- 4) длина малой оси (b);
- 5) угол наклона (ψ) большой оси к поверхности Земли или иначе говоря, к дневной поверхности.

Во всех остальных точках ДИЗ измерялись только значения Hz и Hr. Причём, для ретроспективного анализа данных метода ДИЗ в аспекте обозначенной цели натурного эксперимента были отобраны значения Hz, измеренные на частоте 0,281 МГц. Выбор характеристики Hz объясняется более высокой информативностью и устойчивостью к влиянию разного рода помех в сравнении с характеристикой Hr. Что касается частоты 0,281 МГц, то она заведомо обеспечивала изучение прочности массива осадочных пород до максимально возможной глубины.

На стадии ретроспективного анализа данных метода ДИЗ были последовательно решены 4 задачи. Их подробное описание заинтересованные читатели могут найти в журнале «Криосфера Земли» [18].

Во-первых, и это была самая сложная задача, по результатам параметрических измерений на пяти скважинах определены эффективные значения электросопротивления и вещественной части комплексной относительной диэлектрической проницаемости (далее, сопротивление, проницаемость) исследуемых осадочных пород. Решение задачи получено с помощью альбома палеток В.Ф. Лебедева и др. [15], а также таблицы-программы, которая прилагается к монографии В.И. Иголкина и др. [9, с. 260-266].

Во-вторых, по эффективным значениям сопротивления и проницаемости были вычислены эффективные значения глубины проникновения поля ВВМД в исследуемый массив осадочных пород на частоте 1,125 и 0,281 МГц в полосе разноса 5-100 м. Эта задача решена с помощью рекомендаций и подробных разъяснений, сделанных в статье В.С. Титлинова В.С. и Р.Б. Журавлёвой Р.Б. [23].

В-третьих, по графикам зависимости значений Hz от разноса были вычислены значения меры затухания поля ВВМД (коэффициент k). Эти значения получены путём аппроксимации степенной функцией закономерного нелинейного уменьшения значений Hz при увеличении разноса. Во всех случаях ход изменения значений Hz был одинаковым и для общего диапазона разноса 5-100 м, и для частных интервалов разноса по 10 м, которые последовательно перемещались в сторону увеличения с промежутком 5-10 м. Результат общей и локальной аппроксимации состоял в присваивании коэффициенту k показателя уравнения степенной функции.



Рис. 1. Аппаратура «СЭМЗ»: 1 – блок питания и регулировки тока в излучающей антенне; 2 – микровольтметр; 3 – штатив; 4 – приёмная антенна для работы на частоте 1,125 МГц; 5 – излучающая антенна с переключателем частоты 2,250 на 1,125 МГц; 6 – стержень угломерного устройства; 7 и 8 – лимбы для измерения горизонтального и вертикального угла эллипса поляризации поля ВВМД. Фото автора.

В-четвёртых, по значениям коэффициента k , идентифицирующего среднюю меру затухания в 4-х азимутах поля ВВМД в массиве осадочных пород, вычислялись средние значения R_c . Вычисления выполнялись по модифицированному уравнению степенной функции модели г. Нерюнгри [19]. В дальнейшем, в ходе апробации и верификации модель г. Нерюнгри [18] была названа модифицированной моделью. Эта модель в отличие от первоначального варианта подавляет случайные вариации мерзлотных и грунтовых факторов и, тем самым, усиливает вероятностно-статистические отношения между электродинамическим коэффициентом k и прочностной характеристикой R_c до почти функционального статуса. Для цели настоящей статьи достаточно ограничиться замечанием, что в рамках этих отношений рост-снижение прочности, как главной причины приводит к нелинейному снижению-росту затухания поля ВВМД и описывается уравнением логистической функции [18].

Обсуждение результата эксперимента

Итоговый результат эксперимента заключается в построении по данным метода ДИЗ графиков псевдокаротажа прочности массива осадочных пород в обобщённом представлении для всей площадки жилого посёлка станции «Кюргеллях». Не будем забывать, что этот результат есть прогноз изменения прочности осадочных пород при допущении возможности их перехода из естественного мёрзлого или воздушно-сухого состояния в талое водонасыщенное состояние под совокупным влиянием климатических, и антропогенно-техногенных факторов.

Прежде чем перейти к обсуждению результатов псевдокаротажа на площадке жилого

посёлка остановимся на рассмотрении вероятностных распределений значений R_c водонасыщенных образцов осадочных пород по данным изысканий и значений R_c массива осадочных пород в прогнозируемом водонасыщенном состоянии по данным метода ДИЗ. Статистический анализ геолого-геофизических данных сделан с помощью программы А.П. Кулаичева «Стадия» [14].

Для корректности сравнения использованы данные, полученные в 25 точках скважин. Данные метода ДИЗ, полученные между скважинами, не принимали участия в сравнении с геологическими данными. Однако число лабораторных определений R_c оказалось больше указанного числа скважин. Объясняется это тем, что в некоторых скважинах опробование прочности массива осадочных пород было сделано не на одной глубине, а на 2-х и реже, 3-х срезах глубин.

Для приведения сравниваемых геолого-геофизических данных к одному числу скважин, т.е. 25 определениям R_c и одновременно усилению корректности сравнения объёмных оценок прочности по данным метода ДИЗ с точечными изыскательскими оценками прочности последние дополнительно усреднялись. Делалась эта операция с использованием результатов разделения изученных осадочных пород на инженерно-геологические элементы (ИГЭ). В тех точках скважин, где по разным причинам опробование не было сделано, прочность блоков пород с соответствующими ИГЭ оценивалась приблизительно по нормативным значениям, взятых из лабораторных ведомостей. В остальных случаях для оценки прочности принимались конкретные лабораторные значения.

Итоговый расчёт по каждой скважине средневзвешенных значений прочности выполнен

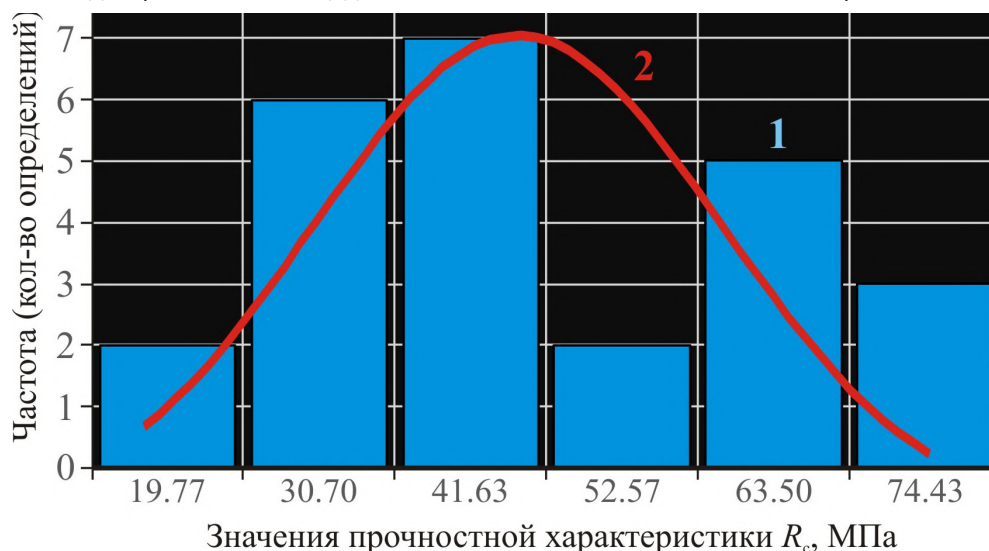


Рис. 2.

Фактическая гистограмма (1) и теоретическая вариограмма нормального закона вероятностного распределения средневзвешенных значений прочности насыщенных водой образцов осадочных пород, отобранных на глубине 6-11 м. Объем выборки – 25 определений.

по совокупности нормативных и единичных значений прочности с учётом мощности опробованных блоков массива осадочных пород.

Попутно следует сделать пояснение по термину «нормативное значение». В инженерной геологии [6] под ним понимают средние значения. В геофизике [21] при цифровой обработке данных с трансформацией физических полей Земли или полей, возбуждаемых от искусственных источников, средние значения называют «фоном» разного порядка (планетарным, региональным и пр.). Общепотребителен термин «фон» и в геохимии.

Подход, использующий ИГЭ как результат статистического обобщения материалов инженерно-геологических изысканий, впервые предложили в 1957 г. Н.В. Коломенский и И.С. Комаров. Об этом редко известном факте свидетельствует учебник по инженерной геологии [10, с. 212, 307], а также другие работы Н.В. Коломенского, в которых он развивал идею применения ИГЭ [11,12]. Благодаря усилиям Н.В. Коломенского и других учёных геологов применение ИГЭ стало узаконенным в инженерно-геологических изысканиях [4], позволяя regularизировать разрозненные в точках проходки горных выработок (шурфах, скважинах и т.д.) геологические данные. И по ним классифицировать грунты, выделяя в них по количественным признакам закономерные изменения нормативных показателей состава, свойств и состояния по латерали и глубине.

Сравнение гистограмм скорректированных по ИГЭ геологических значений средневзвешенной прочности с неизменными значениями

средней прочности по данным метода ДИЗ показывает их несбалансированное вероятностное распределение возле среднего арифметического значения (**рис. 2-4**). Однако строгая тестовая проверка, сделанная по трём независимым критериям (Колмогорова, Хи-квадрат и Омега-квадрат) [14] опровергает ошибочно принятое визуальное решение для распределений на сопоставимой глубине геолого-геофизического опробования равной 6-11 м. Это – распределение лабораторных значений прочности образцов осадочных пород, насыщенных водой (см. **рис. 2**) и распределение значений прочности массива песчаника в прогнозируемом водонасыщенном состоянии по данным метода ДИЗ на частоте 1,125 МГц (см. **рис. 3**).

Принадлежность распределений к нормальному закону дает возможность даже по небольшому числу определений оценить погрешность выборочной (экспериментальной) оценки средней прочности по отношению к теоретической генеральной оценке среднего в подмножестве информационного пространства, принадлежащего территории станции «Кюргеллях» и сопредельной части с аналогичными или близкими инженерно-геологическими условиями строительства и эксплуатации инженерных сооружений в полосе трассы АЯМ. Обозначенная погрешность, определяемая по правилам математической статистики по среднеарифметическому значению для данных изысканий и метода ДИЗ, составляет 15,5 и 17,2 % соответственно. Это означает, что при использовании геологических и геофизических выборочных среднеарифметических оценок прочности равных 45,53 и 44,90

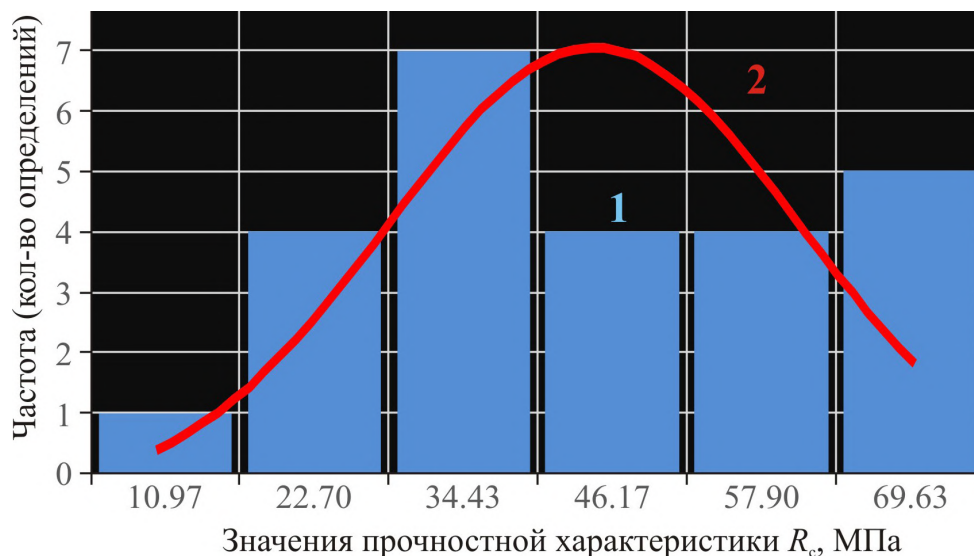


Рис. 3. Фактическая гистограмма (1) и теоретическая вариограмма нормального закона вероятностного распределения в окрестности точек скважин средних значений прочности в прогнозируемом водонасыщенном состоянии массива осадочных пород по данным метода ДИЗ на глубине 6,5-11,7 м. Объём выборки – 25 определений.

МПа неизвестные истинные значения прочности с вероятностью 95,0 % находятся в границах доверительных интервалов 38,49-52,57 МПа и 37,18-52,62 МПа.

У распределения значений R_c , полученных по данным метода ДИЗ на глубине 7,4-23,4 м, иной вероятностный характер (рис. 4). На этой глубине, соответствующей самой низкой частоте 0,281 МГц, которую предоставляет аппаратура «СЭМЗ», изменение прочности массива осадочных пород и визуально, и по тестированию происходит не по нормальному закону.

При внимательном рассмотрении распределение на рис. 4 состоит из 2-х композиций. Первую композицию с максимумом частоты встречаемости значений прочности в интервале 35,05-49,00 МПа со средним значением 42,03 МПа можно было бы описать в частном порядке нормальным законом. Вторую композиция с монотонным ростом среднеинтервальных значений прочности от 69,93 до 97,83 МПа можно было бы описать в таком же порядке, наиболее применяемом в таких случаях логнормальным законом. При таком допущении появляется логика связи геологической природы композиций распределения прочности массива осадочных пород на глубине от 2,7-7,4 до 18,1-23,4 м с выше рассмотренными распределениями на глубине 6,5-11,7 м. Некоторая часть второго интервала глубины 7,4-23,4 м является продолжением изучения прочности на первом интервале ниже 11,7 м.

Неопределённость перехода с одного интервала на другой интервал глубины исчезает при

рассмотрении графика псевдокаротажа прочности массива осадочных пород (рис. 5). Графики построены для частоты 0,281 МГц по 67 точкам ДИЗ, расположенных в точках скважин и между ними на разном расстоянии. Определение эффективной глубины псевдокаротажа сделано по средневзвешенным послойным эффективным значениям электрофизических характеристик (сопротивления и проницаемости). При локальном росте-снижении единичных значений сопротивления от 678 до 1766 Ом·м средний показатель составил 887 Ом·м. Единичные значения проницаемости варьировали от 4,21 до 9,27 отн. ед. возле среднего показателя 5,52 отн. ед. При таких значениях изменение прочности массива пещаника было прослежено от 5,7-7,4 до 18,4-23,4 м.

Научная ценность рис. 5 состоит в том, что он без затрат материальных ресурсов, финансовых средств и драгоценного в условиях рыночной экономики времени на проведение технически сложного сейсмоакустического или электрического каротажа скважин даёт ранее неизвестное знание в части вероятностного обобщённого образа изменчивости по глубине показателя прочности мёрзлого выветренного и тектонически нарушенного массива осадочных пород для всей площадки жилого посёлка станции «Кюргеллях». По сути дела, отвлекаясь от частного характера этого образа, решение задачи псевдокаротажа прочности методом ДИЗ открывает новое направление в науках о Земле и, прежде всего, в инженерной геологии, мерзлотоведении и грунтоведении. В их число также входят

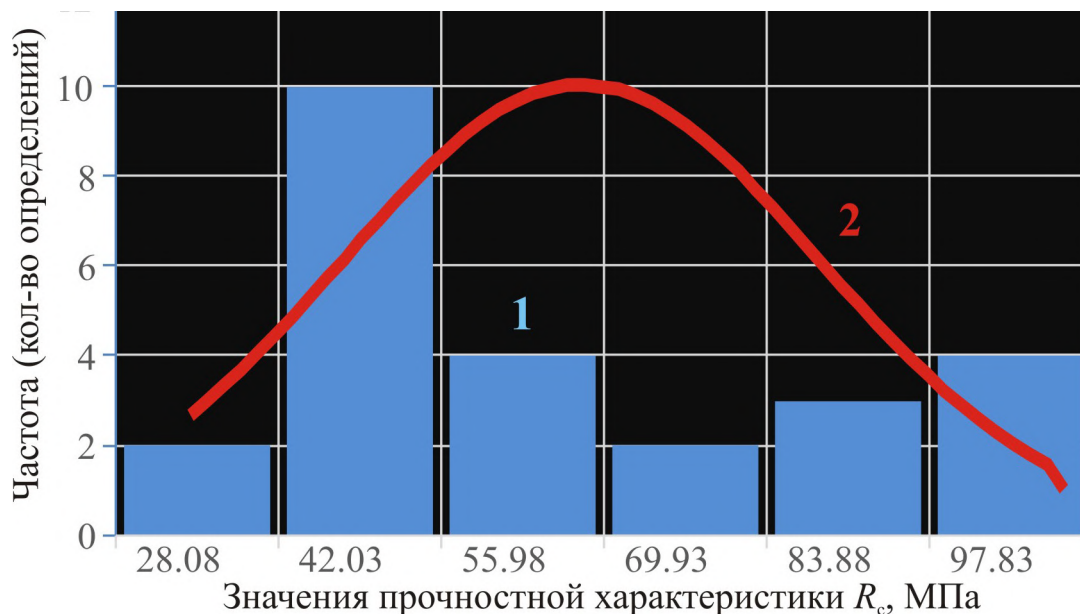


Рис. 4. Фактическая гистограмма (1) и теоретическая вариограмма нормального закона вероятностного распределения в окрестности точек скважин средних значений прочности в прогнозируемом водонасыщенном состоянии массива осадочных пород по данным метода ДИЗ на глубине 7,4-23,4 м. Объем выборки – 25 определений.

такие сопредельные научные области как инженерная геофизика и геофизика криолитозоны.

Рассмотрим особенности псевдокаротажа прочности, сделанного в 2-х вариантах (см. **рис. 5**). Первый вариант – изучение по глубине прочности массива осадочных пород в зонах тектонического дробления, трещиноватости и сопряжённых с ними участками распространения глин древней коры выветривания. Второй вариант – изучение по глубине прочности пород вне зон тектоники на более прочных участках площадки жилого посёлка.

Первая известная общая особенность, например, из книги Л.А. Ярг [25] это – закономерный нелинейный рост прочности пород с увеличением глубины их изучения вне зависимости от заданных вариантов псевдокаротажа.

Вторая особенность, но уже местного плана, состоит в разном градиенте или темпом роста прочности в зависимости от строения и прочностного состояния пород. Эта особенность делит интервал изученных глубин на 2 участка с почти линейным ростом прочности на каждом участке. Первый участок представляет собой область физического и химического выветривания массива осадочных пород. Здесь в зонах разрывной тектоники на глубине 5,7-14,8 м и вне зон на глубине 7,4-18,4 м прочность пород растёт медленно от 27,43-32,43 до 35,27-42,23 МПа с градиентом 0,549-0,633 МПа/м. Второй участок соответствует области относительно сохранного массива осадочных пород. В этой нижней части массива на глубине 14,8-18,4 и 18,4-23,4 м в зонах тектоники и вне их прочность пород растёт

стремительно от 32,43-42,23 до 84,47-100,07 МПа с аномальным градиентом 14,456 и 11,568 МПа/м соответственно.

В области выветривания градиент роста прочности пород почти одинаков в зонах тектоники и вне их. В области относительно сохранных пород градиент роста прочности пород в 1,23 раза больше в зонах тектоники, нежели вне их. Разница небольшая, но существенная для результатов обобщения псевдокаротажа прочности пород. Разница свидетельствует о том, что в относительно сохранных породах, расположенных в зонах тектоники, количество глинистого материала уменьшается с увеличением глубины быстрее, нежели в не затронутых тектоникой более консолидированных породах с закрытыми трещинами.

Большой интерес вызывает разное положение границ смены градиентов между выветренной и относительно сохранной частью массива осадочных пород. В зонах тектоники эта граница в обобщённом виде залегает на глубине 14,8 м, а вне зон тектоники на глубине 18,4 м. Разница почти в четыре метра объясняется разными тепловыми свойствами пород. В зонах тектоники, где очень много глинистого материала, заполняющего промежутки блочно-ячеистой структуры массива осадочных пород их теплоёмкость выше, а теплопроводность и температуропроводность ниже. Вне зон тектоники с доминированием трещиноватой структуры с гораздо меньшим глинистым материалом наблюдается обратный тепловой эффект. Теплоёмкость ста-

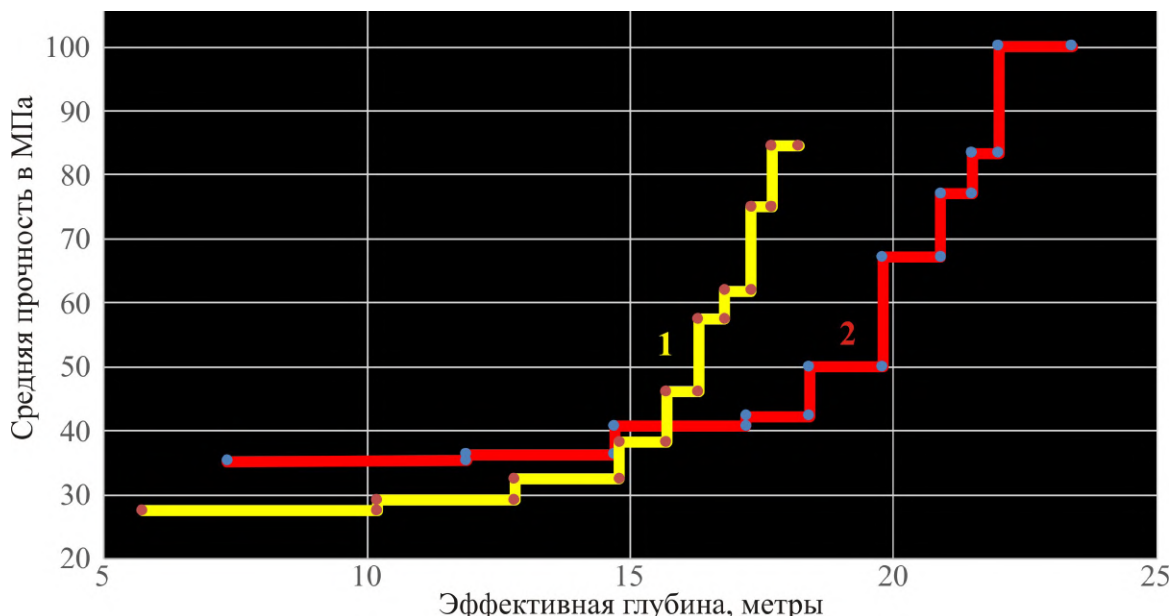


Рис. 5. Дискретные графики псевдокаротажа прочности массива осадочных пород по данным метода ДИЗ на частоте 0,281 МГц; 1 – в зонах тектонического дробления и трещиноватости; 2 – вне зон тектоники. Объем выборки – 67 точек ДИЗ.

новятся меньше, а тепло-температуропроводность увеличиваются. В этом состоит третья особенность псевдокаротажа прочности мёрзлого массива осадочных пород, Она подтверждается данными метода дискретной георадиолокации с новой на период проведения изыскательских работ аппаратурой «17ГРЛ-1».

По данным метода георадиолокации относительно высокое удельное затухание (3,33-2,47 дБ/м) электромагнитной волны в полосе частот 30-150 МГц прослеживается в тектонических зонах до глубины 18,3 м, а вне зон тектоники – до 24,7 м. Ниже, затухание уменьшается в 2,6-2,0 раза. При такой радиоконтрастной динамике нет сомнения в том, что положение границы смены затухания есть опорная граница предельной глубины проникновения тепловых потоков в тектонически нарушенный или ненарушенный выветренный массив осадочных пород. Разность глубины залегания этой границы по данным методов ДИЗ и георадиолокации в относительной оценке составляет в зонах тектоники 21 %, а в не зон тектоники – 29 %. Для разных методов электромагнитного возбуждения массива осадочных пород эта разница не такая уж, и большая.

Знание третьей особенности наиболее важно для решения научно-практических задач теплофизики мёрзлых грунтово-геологических сред. В частном рассматриваемом случае речь идёт об оценке ранее неизвестного (без данных режимного термокаротажа изыскательских скважин) положения нижней границы слоя годовых теплооборотов в затронутых и незатронутых тектоникой частях массива осадочных пород. В первом случае разрушительный процесс криометаморфизма [8, 17] с циклической сезонно-межгодовой сменой направления потоков холодного и тёплого воздуха проникает на площадке жилого посёлка станции «Кюргеллях» до глубины 14,8 м, а во втором случае – до 18,4 м.

Таким образом, в зонах тектоники раздроблено-сильнотрещиноватый массив за счёт меньшей глубины проникновения процесса криометаморфизма быстрее набирает свою утраченную первоначальную прочность, нежели вне зон тектоники. Критическое значение 50 МПа, означающее границу между скальными грунтами средней категории прочности (15-50 МПа) и прочной категории (50-120 МПа) [5], породы в зонах тектоники переходят в целом, на глубине 16,3 м, а вне зон – на 19,8 м. Для проектировщиков, геологов-изыскателей и строителей знание мест расположения с такой разницей глубины залегания прочных скальных пород весьма важно.

Впервые полученные по псевдокаротажу прочности массива осадочных пород цифры,

означающие мощность слоя годовых теплооборотов, не противоречат общим оценкам, ранее полученных в криолитозоне Южной Якутии [24].

Итог эксперимента

Псевдокаротаж прочности массива осадочных пород, сделанный на станции «Кюргеллях» по результатам ретроспективного анализа данных инженерно-геологических изысканий и метода ДИЗ, открыл новое научное направление в инженерной геологии, мерзловедении, грунтоведении, инженерной геофизике, геофизике криолитозоны и установил следующие факты.

Во-первых, даже в прогнозируемом водонасыщенном состоянии тектонически нарушенный мёрзлый массив осадочных пород, изученный на сопоставимой геолого-геофизической глубине 6-11 м, относится к всё ещё скальным грунтам средней категории прочности с R_c не ниже 15 МПа.

Во-вторых, впервые методом ДИЗ в отсутствие данных режимной термометрии изыскательских скважин определена глубина залегания нижней границы слоя годовых теплооборотов. В тектонических зонах она залегает на глубине 16,3 м, а вне зон тектоники – на 19,8 м.

В-третьих, в пределах слоя годовых теплооборотов линейный темп роста в зонах тектоники и вне их одинаково медленный и составляет 0,549-0,633 МПа/м. Ниже этого слоя линейный темп роста становится аномально высоким и составляет 14,456 и 11,568 МПа/м.

В-четвёртых, в области выветривания в пределах слоя годовых теплооборотов средняя прочность массива осадочных пород изменяется от 27,43-32,43 в зонах тектоники до 35,27-42,23 МПа вне зон тектоники. Ниже слоя годовых теплооборотов массив осадочных пород быстро восстанавливает свою прочность и на максимальной изученной глубине 18,4 и 23,4 м она составляет 84,47-100,07 МПа, что соответствует категории прочных скальных грунтов. С учётом применения того или иного повышающего коэффициента из СНиП 2.02.01-83 [22] массив осадочных пород в реальном морозном воздушно-сухом состоянии вероятнее всего перейдёт в категорию очень прочных скальных грунтов с R_c более 120 МПа.

Перечисленные факты имеют практическое значение как частные априорные оценки прочностного состояния массивов осадочных пород. Эти оценки рекомендуется принять во внимание проектировщикам, геологам-изыскателям и горнякам в ходе освоения Южной Якутии с решением горнопромышленных и иных задач строительства в полосе трассы АЯМ с инженерно-геологическими условиями близкими к станции «Кюргеллях». ❶

Литература

1. Акимов А.Т. Вопросы теории и практики электроразведки мёрзлых пород // Труды ПНИИИС Госстроя РСФСР, том VI. Геофизические методы исследований при изысканиях в строительстве. – М.: Изд-во Госстроя СССР, 1971, с. 6–73.
2. Булдович С.Н., Мелентьев В.С., Наумов М.С., Фурикевич О.С. Роль новейших разрывных нарушений в формировании мерзлотно-гидрогеологических условий (на примере Нерюнгринской синклинали Южно-Якутского мезозойского прогиба) // Мерзлотные исследования. – М.: Изд-во МГУ, 1976, выпуск XV, с. 120–125.
3. ГОСТ 21135.2–84. Породы горные. Методы определения предела прочности при одноосном сжатии. – М.: Изд-во стандартов, 1984. – 7 с.
4. ГОСТ 20522–2012. Грунты. Методы статистической обработки результатов испытаний. – М.: Стандартинформ, 2013. – 16 с.
5. ГОСТ 25100–2020. Грунты. Классификация. – М.: Изд-во «Стандартинформ», 2020. – 38 с.
6. Грунтоведение / В.Т. Трофимов, В.А. Королёв, Е.А. Вознесенский [и др.] ; под ред. В. Т. Трофимова. – 6-е изд., пере-раб. и доп. – М.: Изд-во МГУ, 2005. – 1024 с.
7. Железняк М.Н. Геотемпературное поле и криолитозона юго-востока Сибирской платформы. – Новосибирск: Наука, 2005. – 227 с.
8. Забелин А.В. Количественная оценка влияния процессов криогенного выветривания на устойчивость откосов бортов угольных карьеров Южной Якутии // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2003. № 7. С. 11–13. EDN: KXFGGJ.
9. Игольник В.И., Шайдуров Г.Я., Тронин О.А., Хохлов М.Ф. Методы и аппаратура электроразведки на переменном токе. – Красноярск: Изд-во Сиб. федер. ун-та, 2016. – 272 с.
10. Коломенский Н.В. Инженерная геология. Учебник для геол.-развед. техникумов. Том 2. Часть 2. – М.: Изд-во Госгеолиздат, 1956. – 320 с.
11. Коломенский Н.В. Общая методика инженерно-геологических исследований. – М.: Изд-во «Недра», 1968. – 342 с.
12. Коломенский Н.В. Некоторые проблемы развития инженерной геологии // Пути дальнейшего развития инженерной геологии / Материалы дискуссии 1-го Межд. конгресса по инженерной геологии. – М.: Изд-во МГУ, 1971, с. 36–40.
13. Комплекс среднечастотной аппаратуры электромагнитного зондирования. Техническое описание. Изд-во НПО «Сибцветметавтоматика» СССР. – Красноярск, 1991. – 30 с.
14. Кулаичев А.П. Методы и средства комплексного анализа данных. – М.: Изд-во «ФОРУМ: ИНФРА», 2006. – 512 с.
15. Лебедев В.Ф., Онущенко В.И., Литвинцева Л.М. Комплекс СЭМЗ. Методическое пособие. – Красноярск: Изд-во НПО Сибцветметавтоматика СССР, 1991. – 83 с.
16. Левкович А.И. Методика обоснования состава и объёмов инженерно-геологических изысканий для строительства различных типов зданий и сооружений промышленного, сельскохозяйственного и жилищно-гражданского назначения в районах распространения вечномёрзлых грунтов с учётом требований проектирования. – М.: Изд-во Госстрой РФСР. НПО Стройизыскания, 1989. – 173 с.
17. Мельников А.Е., Павлов С.С., Колодезников И.И. Разрушение пород насыпи новой железнодорожной линии Томмот-Кердём Амурсо-Якутской магистрали под воздействием криогенного выветривания // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 2; URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=12945> (дата обращения: 06.02.2022). EDN: SBWMQZ.
18. Нерадовский Л.Г. Вероятностная модель прогноза прочности песчаников методом дистанционного индуктивного зондирования в криолитозоне Южной Якутии (на примере г. Нерюнгри) // Криосфера Земли, 2022, т. XXVI, № 6, с. 43–57. DOI: 10.15372/KZ20220605. EDN: SJTDBR.
19. Нерадовский Л.Г. Оценка прочностного состояния скально-полускального основания инженерных сооружений г. Нерюнгри в криолитозоне Южной Якутии по данным геофизики (метода дистанционного индуктивного зондирования) // Недропользование XXI век. 2022. № 4 (96). С. 91–97. EDN: GYJQML.
20. Нерадовский Л.Г. Ошибки средних значений прочности осадочных пород Южной Якутии по данным метода дистанционного индуктивного зондирования // Геоинформатика, 2023, с. 48–62. EDN: KYAIKS.
21. Никитин, А. А. Статистические методы выделения геофизических аномалий. – М.: Недра, 1979. – 280 с.
22. Пособие по проектированию оснований зданий и сооружений (к СНиП 2.02.01-83) / НИИОСП им. Н.М. Герсманова Госстроя СССР – М.: Изд-во «Стройиздат», 1986. – 415 с.
23. Титлинов В.С., Журавлёва Р.Б. Технология дистанционных индуктивных зондирований. – Екатеринбург: Изд-во УИФ Наука, 1995. – 56 с.
24. Южная Якутия: мерзлотно-гидрогеологические и инженерно-геологические условия Алданского горнопромышленного района / под ред. В.А. Кудрявцева. – М.: Изд-во МГУ, 1975. – 444 с.
25. Ярг Л.А. Методы инженерно-геологических исследований процесса и кор выветривания. – М.: Изд-во «Недра», 1991. – 139 с.

UDC: 550.379+550.85

L.G. Neradovskii, Senior Research Scientist, Laboratory of Engineering Geocryology Melnikov Permafrost Institute SB RAS, L031950N@ia.ru

PSEUDO-LOGGING OF THE STRENGTH OF SEDIMENTARY ROCKS IN SOUTH YAKUTIA AT THE STATION «KYURGELLYAKH» ACCORDING TO THE METHOD OF GEOPHYSICS

Abstract: According to the results of a retrospective analysis of the actual material of engineering-geological surveys obtained in South Yakutia at the Kyurgellakh station, the pseudo-logging of the strength of sedimentary rocks at a frequency of 0.281 MHz in the transitional separation zone of 5-100 m was performed for the first time by remote inductive sounding. In the area of weathering, the strength increases from 27.43-32.43 to 35.27-42.23 MPa equally slowly in the tectonic zones of crushing, fracturing and outside them with a gradient of 0.549-0.633 MPa/m. Below, in a relatively intact part of the rocks to a depth of 18.4-23.4 m, the strength of rocks in similar zones increases, quickly reaching 84.47-100.07 MPa with an almost equal anomalous gradient of 14.456 and 11.568 MPa/m. The boundary of the change of gradients at a depth of 16.3 and 19.8 m is identified as the lower boundary of the layer of annual heat exchanges with different thermal properties of rocks. The obtained values of the gradients are recommended to be used experimentally in South Yakutia to solve forecast problems by design, construction, survey and mining organizations at different stages of studying the strength of sedimentary rocks that make up the rocky-semi-rocky foundations of engineering structures.

Keywords: Station; research; layer of annual heat exchanges; sedimentary rocks; strength; water-saturated state; method of remote inductive sensing; frequency 1.125 and 0.281 MHz; effective depth.



Борисов А.А.
ФГБУ «ВИМС»
заместитель заведующего отделом методики геолого-экономической оценки и разведки месторождений, аспирант МГУ имени М.В. Ломоносова кафедры Геологии, геохимии и экономики полезных ископаемых
borisov@vims-geo.ru



Богуславский М.А.
канд. геол.-мин. наук
МГУ им. М.В. Ломоносова
доцент кафедры Геологии, геохимии и экономики полезных ископаемых
mboguslavskiy@yandex.ru

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНОЙ СЕТИ БУРУКТАЛЬСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ НА ОСНОВЕ КОЛИЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ

Рассмотрены методы количественного обоснования параметров геологоразведочной сети. На основании аналитического расчета количественных критериев разведанности III участка Буруктальского месторождения оценены параметры погрешности расчета средних содержаний и ошибки геометризации. Проведено сравнение расчётных параметров для оптимальных разведочных сетей, удовлетворяющих требованиям всех категорий запасов: в соответствии с классификацией ГКЗ и кодексом JORC.

Ключевые слова: обоснование разведочной сети, погрешность оценки, ошибка геометризации, классификация запасов, Буруктальское месторождение.

При проектировании геологоразведочных работ важно определить параметры буровой сети для оптимизации затрат: как в отношении физических объемов работ, так и денежных расходов. Параметры разведочной сети – ее размер и геометрия, оказывают прямое влияние на выявляемую изменчивость распределения полезных компонентов (в частности, на анизотропию закономерной изменчивости), что подтверждает необходимость определения рациональных параметров разведочной сети при проектировании буровых работ.

Существует два основных метода обоснования оптимальных параметров разведочной сети: качественный и количественный. Качественные методы основаны на имеющемся опыте разведки и разработки месторождений. Параметры разведочных сетей, применяющиеся на различных генетических и морфологических типах полезных ископаемых с группировкой по сложности строения обобщены в Методических рекомендациях ГКЗ [5]. Количественные методы обоснования

разведочной сети основаны на анализе критериев разведанности, среди которых выделяется точность оценки средних содержаний полезных компонентов и ошибки геометризации.

Характеристики III участка Буруктальского месторождения

Исследования параметров разведочной сети проводились на III участке Буруктальского месторождения силикатного никеля, представляющего из себя линейно-площадную кору выветривания одноименного массива ультраосновных пород. По группе сложности месторождение отнесено ко 2 группе. Месторождение изучено с высокой степенью детальности, за весь период его разведки и разработки в общей сложности пробурено около 6 тысяч скважин. Все расчеты в работе проведены на основании базы данных скважин месторождения.

Применяемые параметры разведочной сети на месторождениях никелевых и кобальтовых руд второй группы по сложности строения, согласно методическим рекомендациям ГКЗ [5],

составляют: категории В – от 50×50 до 100×100 м, для категории С1 – от 75×100 до 100×200 м.

Для обоснования параметров сети на основании количественных показателей предлагается использовать подход, изложенный в работе П. И. Кушнарева [4]. Расчет погрешности оценки содержания и ошибок геометризации проводится аналитически на основании следующих показателей:

- годовая производительность предприятия по добыче руды (А) – 5 400 тыс. тонн;
- средняя длина проб ($l_{пр}$) – 1.73 м;
- коэффициент вариации содержания никеля по пробам ($V_{пр}$) – 64 %;
- средняя объемная масса руд (γ) 1.33 кг/м³;
- фактическая площадь разведочной ячейки, применяемой на месторождении (S_i):
- для категории В (50×50 м) – 2500 м²;
- для категории С1 (100×100 м) – 10 000 м²;
- для категории С1 (200×200 м) – 40 000 м².

Обоснование параметров разведочной сети на основе величины погрешности оценки содержания

Предельная погрешность оценки запасов применительно к объему недр, сопоставимому с годовой производительностью предприятия, для различных категорий запасов, предложена в ряде работ [2, 3, 4]. Для запасов категории В она составляет 5-7 %, для запасов категории С1 – 10-15 %, для запасов категории С2 – 20-30 %.

Для расчета фактической величины погрешности оценки среднего содержания никеля предварительно рассчитывается максимальный объем недр (V) и масса руды (Q), приходящейся на одну разведочную пробу для каждой категории запасов:

$$V = S \times l_{пр} \quad (1)$$

$$Q = V \times \gamma \quad (2)$$

где V – максимальный объем недр, приходящийся на одну пробу, S – площадь ячейки разведочной сети, $l_{пр}$ – средняя длина пробы, Qi – масса руды, приходящаяся на одну пробу, γ – средняя объемная масса руд.

Фактическое (минимальное) число проб (N_i) в блоке, сопоставимом с годовой производительностью, рассчитывается по формуле:

$$N = A / Q \quad (3)$$

где A – годовая производительность предприятия по добыче руды, Q – масса руды, приходящаяся на одну пробу.

Погрешность оценки среднего содержания в блоке может быть определена по формуле математической статистики:

$$\lambda = t_a \times V_{пр} / \sqrt{N} \quad (4)$$

где λ – погрешность оценки среднего содержания никеля, t_a – критерий Стьюдента, $V_{пр}$ – коэффициент вариации содержания никеля по пробам,

N – число проб в блоке, сопоставимом с годовой производительностью.

Оценка погрешности выполнена для доверительной вероятности 1 %, критерий Стьюдента в этом случае составляет 2.58.

Согласно проведенным расчетам, погрешность оценки средних содержаний в блоке годовой производительности при фактических параметрах разведочной сети на Буруктальском месторождении составила для категории В – 5.4 %, для категории С1 – 10.8 %, для категории С2 – 21.6 %.

Погрешность оценки средних содержаний никеля находится в допустимых пределах для каждой категории запасов, что говорит о соответствии параметров имеющейся разведочной сети для достоверной оценки содержания металла по всем категориям.

Оптимальную густоту разведочной сети с позиций допустимой погрешности оценки средних содержаний для различных категорий запасов можно определить исходя из формул (1), (2), (3), (4). Для этого сначала рассчитывается необходимое количество наблюдений (разведочных проб) в блоке, соответствующем годовой производительности, для пределов допустимой погрешности оценки содержания каждой категории запасов, затем запасы, приходящиеся на одну пробу. Площадь блока рассчитывается исходя из объема запасов и длины пробы. Для запасов категории В оптимальная площадь ячейки составляет 2 152 – 4 218 м², для категории С1 – 8 606 – 19 368 м², для категории С2 – 34 432 – 77 471 м².

Таким образом, оптимальная густота разведочной сети с позиций допустимой величины погрешности оценки средних содержаний составляет: для категории В – 46-65 м, для категории С1 – 93-139 м, для категории С2 – 186-278 м. Определенные аналитическим путем требования к густоте разведочной сети соотносятся с параметрами буровых сетей, применяющихся на подобных месторождениях: от 50×50 до 100×100 м для категории В и от 75×100 до 100×200 м для категории С1 [5].

Обоснование параметров разведочной сети на основе ошибок геометризации

Другим количественным показателем, характеризующим достаточность густоты разведочной сети для корректности оконтуривания рудных тел, является ошибка геометризации, отражающая степень достоверности контуров рудных залежей, построенных по разведочным данным. Аналитически ошибка геометризации (Δ_i) может быть рассчитана исходя из среднего размера рудного тела или залежи по заданному направлению – падению или простиранию. В случае

оконтуривания рудных тел в проекции ошибка рассчитывается по следующей формуле:

$$\Delta_{(A, B)} = [(A/4L_{cp})^2 + (B/4H_{cp})^2]^{0.5} \times 100 \% \quad (5)$$

где А и В шаг разведочной сети по падению и простиранию, L_{ср} и H_{ср} – длина рудного тела по заданному направлению.

Величины ошибки геометризации для запасов категории В изменяются в диапазоне 15-30 %, для категории С1 они составляют 30-50 %, для категории С2 превышают 50 % [1].

Основные направления изменчивости рудных залежей III участка Буруктальского месторождения, по которым проведена оценка ошибок геометризации – по простиранию и вкрест простирания, аналогично применяемой в настоящее время ориентировке разведочной сети.

Полувариограмма по простиранию рудных залежей III участка Буруктальского месторождения приведена на **рис. 1**. Предел корреляции выделяется на расстоянии 1300 м, что соответствует среднему размеру рудной залежи по этому направлению.

Полувариограмма вкрест простирания рудных залежей III участка Буруктальского месторождения приведена на **рис. 2**. Предел корреляции выделяется на расстоянии 480 м, что соответствует среднему размеру рудной залежи по этому направлению.

Ошибки геометризации при оконтуривании рудных залежей Буруктальского месторождения аналитическим расчетом по формуле (5), составят: для категории В – 2.8 %, для категории С1 – 5.6 %, для категории С2 – 11.1 %.

Низкое значение ошибок геометризации, рассчитанное по показателям длины минерализованной зоны по основным направлениям изменчивости, связано с морфологией рудной залежи III участка Буруктальского месторождения. При оконтуривании в плане рудная залежь, хоть и включает себя «окна» и прослойки безрудных пород, по большей части, непрерыв-

ная (**рис. 3**). Это связано, вероятно, с выдержанностью окислительных процессов корообразования по площади.

Кровля залежи имеет достаточно простую субгоризонтальную форму, в то время, как морфология подошвы более сложная: с карманами и резкими перепадами мощности за счет развития окислительных процессов на глубину. Извилистая конфигурация подошвы рудной залежи наглядно иллюстрируется разрезом по профилю +XX, где приведено сравнение вариантов оконтуривания рудного тела (**рис. 4**) по разведочным сетям различной густоты. При сгущении разведочной сети от 50×50 м до 25×25 м нижняя граница залежи усложняется и приобретает более выраженную пилообразную форму. При этом мощность залежи по пересечениям изменяется как в сторону увеличения, так и уменьшения.

В условиях относительно простой формы рудного тела в плане наиболее целесообразно оценивать ошибки геометризации для оконтуривания рудных залежей в разрезах. При этом в первую очередь необходимо учитывать сложную морфологию подошвы залежей. Определить средние размеры участков залежей, характеризующиеся резким изменением глубины подошвы, возможно с помощью геостатистических методов, для этого можно использовать полувариограммы мощностей рудных залежей, построенные по основным направлениям анизотропии.

При анализе полувариограммы мощностей рудного тела, построенной по направлению простирания рудного тела, можно отметить, что наиболее резкое, скачкообразное изменение мощности отмечается в пределах интервала 0-90 м (**рис. 5**), что характеризует усредненный размер обособленных интервалов распространения окислительных процессов на глубину. Этот интервал можно использовать для аналитического расчета по формуле (5) для определения ошибок геометризации в направлении разреза

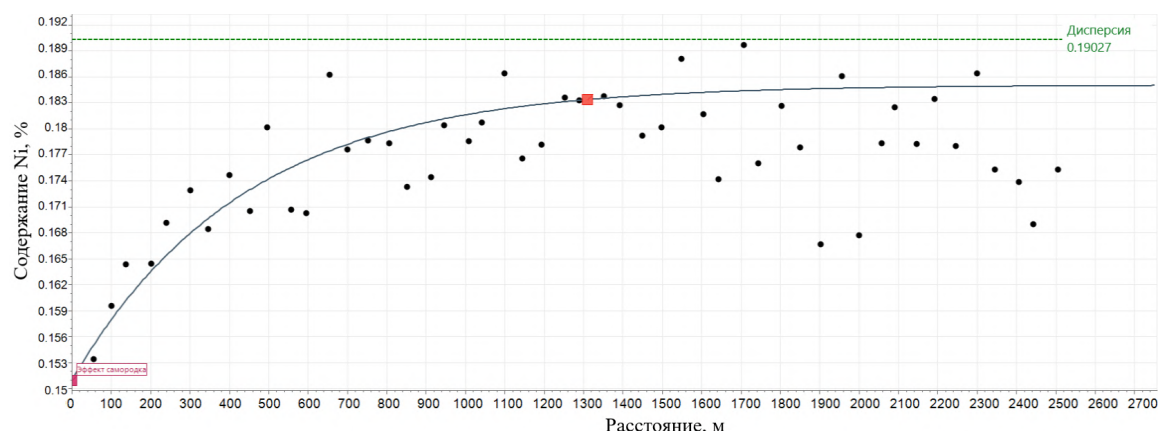


Рис. 1. Полувариограмма содержаний никеля по направлению простирания рудных залежей

применительно к оконтуриванию подошвы рудного тела. В направлении вкрест простирания эта область ограничивается интервалом 0-110 м.

Ошибки геометризации в разрезе, применительно к оконтуриванию подошвы рудного тела, составят: для категории В – 17.9 %, для категории С1 – 35.9 %, для категории С2 – 71.8 %.

Согласно проведенным расчетам, действующая на месторождении разведочная сеть удовлетворяет к требованиям к ошибкам геометризации по всем категориям запасов, что говорит о достаточной степени достоверности определения пространственного положения рудной залежи III участка Буруктальского месторождения по данным имеющихся геологоразведочных сетей. Параметры сети, определенные по аналитическому расчету погрешности оценки содержания, также будут находиться в пределах допустимых значений ошибки геометризации.

Зарубежные подходы к обоснованию сети (кодекс JORC)

В Австралийском кодексе по подготовке отчетности о результатах геологоразведочных работ, минеральных ресурсов и рудных запасов (JORC) параметры разведочной сети рассматриваются в разделе плотность данных и их распределение [6]. Основным критерием является достаточность плотности разведочной сети и ее распределение в пространстве для достоверного оконтуривания рудных тел и оценки запасов, при этом какой-либо качественной либо количественной оценки оптимальных параметров сети в кодексе JORC, по сравнению с рекомендациями ГКЗ, не приводится.

Наиболее распространенным приемом по определению достаточности имеющейся разведочной сети для квалификации запасов по требуемой категории является использование вариограмм. Основная идея этого подхода состоит в том, что по вариограмме определяется расстояние (range или предел корреляции), при котором она выходит на пороговые значения

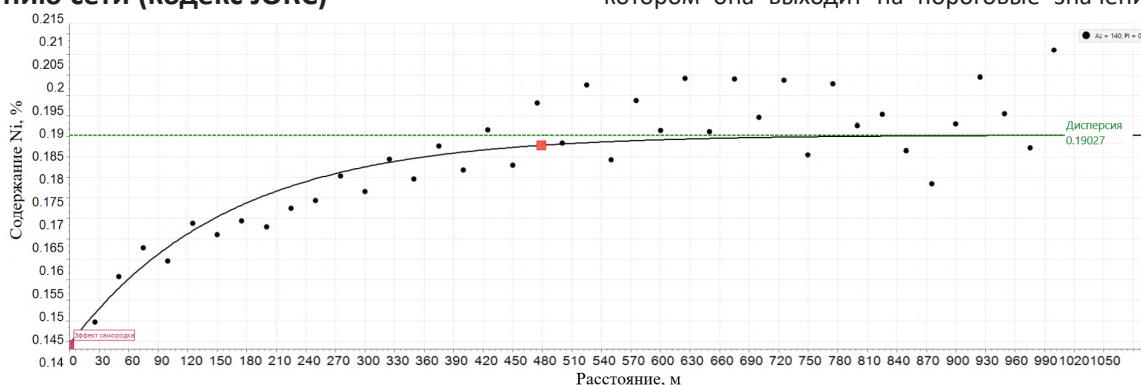


Рис. 2. Полувариограмма содержаний никеля по направлению вкрест простирания рудных залежей

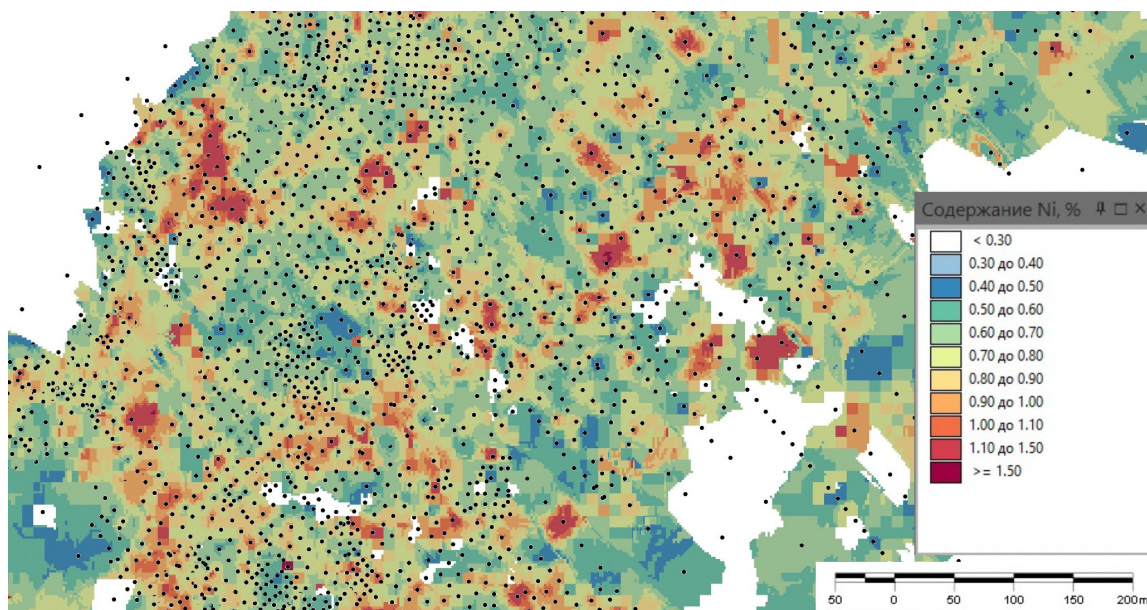


Рис. 3. Блочная модель Буруктальского месторождения, вид в плане

(sill). Далее по нормированным значениям вариограмм оцениваются расстояния между разведочными пересечениями, при которых ресурсы могут квалифицироваться по той или иной категории. Однозначно принципы оценки этих расстояний не определены и несколько расходятся в разных отчетах и публикациях [4].

Например, Г. Паркер [7] предлагает считать, что расстояния между пересечениями, соответствующие нормированным значениям вариограммы менее 0.6, позволяют оценивать ресурсы по категории measured. Предельному расстоянию, достаточному для квалификации ресурсов по категории indicated, соответствует нормированное значение вариограммы 0.8. Для оценки ресурсов категории inferred может использоваться шаг сети, не превышающий предел корреляции или увеличенные относительно него на 10-20 %.

Для III участка Буруктальского месторождения оценку параметров разведочной сети для достоверной оценки ресурсов по категориям JORC можно определить аналогичным образом по нормированным вариограммам, построен-

ным по направлениям падения и вкрест простирания рудных залежей.

По направлению вкрест простирания нормированному значению вариограммы 0.6 соответствует расстояние 70 м, позволяющее оценивать ресурсы по категории measured (рис. 6). Для оценки ресурсов по категории indicated предельный размер сети составляет 280 м, для категории ресурсов inferred – 550 м.

Предельные размеры сети для оценки ресурсов по категориям JORC по направлению вкрест простирания рудных тел несколько отличаются: категории measured соответствует расстояние в 140 м, категории indicated – 240 м, категории inferred – 340 м (рис. 7).

Допустимые размеры разведочной сети для оценки ресурсов по категории measured составили 70×140 м. При сравнении с аналогичной категорией запасов В по классификации ГКЗ эта сеть разряжена в 1.5-2 раза (45×65 м – по данным аналитического расчета).

Для оценки ресурсов категории indicated предельный размер сети, определенный по анализу

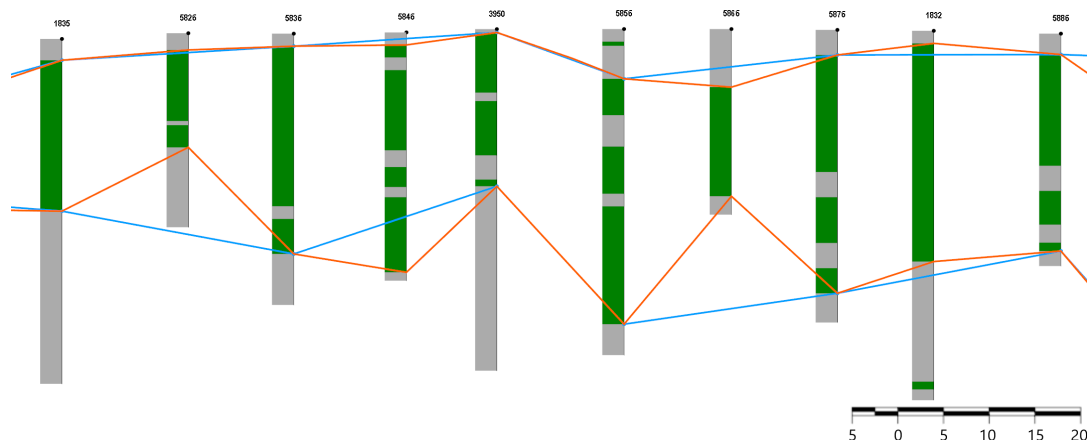


Рис. 4. Профиль +XX, оконтуривание рудной залежи по разведочной сети 50×50 м (синий) и 25×25 м (оранжевый)

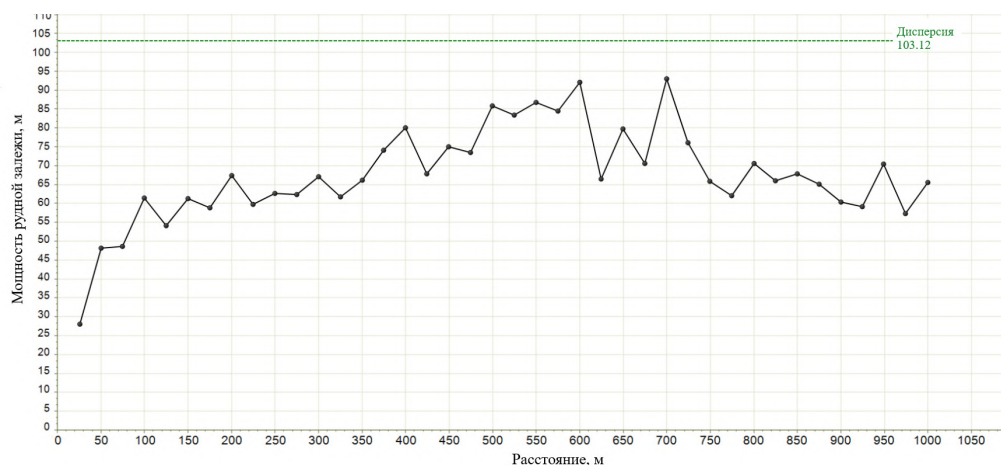


Рис. 5. Полувариограмма мощности рудных залежей по направлению простирания

полувариограмм, составил 240×280 м. Для аналогичных запасов классификации ГКЗ по категории С1 требования к густоте разведочной сети также оказались выше в два раза (100×140 м по данным количественного анализа)

Для оценки ресурсов по категории inferred допустимые размеры сети составили 340×550 м.

Выводы

Разведочная сеть III участка Буруктальского месторождения была изучена на основании количественных методов. Аналитическим путем определены величины критериев разведанности, обосновывающие параметры разведочной сети.

С позиций анализа погрешности оценки средних содержаний никеля, параметры разведочной сети удовлетворяют требованиям к запасам по всем категориям. По количественным показателям, в зависимости от вариации содержаний никеля в пробах и допустимой предельной погрешности оценки среднего, рассчитаны оптимальные параметры густоты разведочной сети:

- для категории В – 45×65 м;
- для категории С1 – 100×140 м;
- для категории С2 – 200×280 м.

Параметры оптимальной густоты разведочной сети, определенные на основании количественных показателей, находятся в допустимых пределах размеров ячейки сети, приведенных в Методических рекомендациях ГКЗ [5] по всем категориям запасов.

По критерию величины ошибок геометризации проведены расчеты по различным показателям. Ошибки при оконтуривании рудных

залежей различаются в зависимости от анализируемой плоскости: для III участка Буруктальского месторождения наиболее сложная морфология характерна для плоскости разреза, в первую очередь, для подошвы рудной залежи, в то время как в плане залежь имеет более простые очертания. Эти особенности выражаются в величинах ошибок геометризации, которые оказались выше в расчетах, основанных на изменчивости мощности залежей. Согласно проведенным расчетам, по критерию ошибок геометризации существующая разведочная сеть удовлетворяет требованиям допустимых пределов для всех категорий запасов.

На основании геостатистического анализа проведено обоснование разведочной сети по зарубежной классификации запасов на основании Австралийского кодекса JORC. Параметры разведочной сети для категорий ресурсов определены по вариограммам в зависимости от предела корреляции. Предельные размеры сети составили:

- для ресурсов категории measured – 70×140 м;
- для ресурсов категории indicated – 240×280 м;
- для ресурсов категории inferred – 340×500 м.

Параметры разведочной сети, определенные по количественным показателям для категории запасов В, оказались в 1.5 – 2.5 раза более разряжены, чем параметры сети для аналогичных ресурсов measured. При сравнении рассчитанных параметров сети для классификации запасов по категории С1 и соответствующим им ресурсам indicated эта зависимость сохраняется. XXI

Литература

1. Викентьев В.А., Карпенко И.А., Шумилин М.В. Экспертиза подсчетов запасов рудных месторождений. Москва: Недра, 1988 – 201 с.
2. Каждан А.Б. Методологические основы разведки полезных ископаемых / А.Б. Каждан. Москва: Недра, 1974. – 272 с.
3. Коткин В.А. Количественная оценка точности и достоверности разведанных запасов месторождений твердых полезных ископаемых / В.А. Коткин, А.В. Мельникова, А.Н. Лазарев, Н.Н. Лагонский // Недропользование XXI век. – 2009. – №1. – С. 29-33.
4. Кушнарев П.И. Научно-методические основы количественной оценки разведанности золоторудных месторождений, Диссертация на соискание степени учёной степени доктора геолого-минералогических наук. ФГБУ «ВИМС», 2022 г. – 193 с.
5. Методические рекомендации по применению Классификации запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых. ФБУ «ГКЗ», М., 2007
6. Australasian Code for Reporting of Exploration Results, Mineral Resources and Ore Reserves (The JORC Code). Prepared by the Joint Ore Reserves Committee of The Australasian Institute of Mining and Metallurgy, Australian Institute of Geoscientists and Minerals Council of Australia (JORC). Comparison JORC (2004) to JORC (2012) Draft Code. – 2012. – 98 p.
7. Parker H. Quantitative Criteria for mineral resource Classification / H. Parker – Joint State Commission on Mineral Resources of the Russian Federation (GKZ) and CRIRSCO Seminar «Russia and International Mineral Reserves/Resources Standards». – Moscow, Russian Federation. – 27 September 2010.

UDC: 553.042

A.A. Borisov, FGBU «ВИМС», deputy head of resource evaluation department, Post-graduate student of the Department of geology, geochemistry and economics of ore deposit, Geological Faculty, Lomonosov Moscow State University, borisov@vims-geo.ru
M.A. Boguslavskiy, Candidate of Science (Geol.-Mineral.), Docent of the Department of geology, geochemistry and economics of ore deposit, Geological Faculty, Lomonosov Moscow State University, mboguslavskiy@yandex.ru

BURUKTAL DEPOSIT DRILL HOLE SPACING ANALYSIS BASED ON QUANTITATIVE INDICATORS

Abstract: Methods of drill hole spacing analysis, based on the analytical calculation of quantitative criteria for the exploration of the section III of the Buruktal field were considered. Estimation error and geometrization error were valued using quantitative equations. The parameters of the optimal exploration network for all categories of reserves were calculated: in accordance with the classifications of the GKZ and the JORC code.

Keywords: drill hole spacing, estimation error, delineation error, resource classification, Buruktal deposit.



Шац М.М.
канд. геогр. наук
Институт мерзлотоведения им. П.И.
Мельникова СО РАН
ведущий научный сотрудник
mmshatz@mail.ru

ГЕОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЯ НА ЗОЛОТОРУДНОМ ТАРЫНСКОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ (ВОСТОЧНАЯ ЯКУТИЯ)

В статье приведены результаты исследований золоторудного Тарынского поля (Восточная Якутия) на начальном этапе освоения. Установлено, что природные условия в этот период характеризуются невысокой степенью нарушенности геосистем. Дана геолого-технологическая характеристика основных месторождений рудного поля.

Ключевые слова: Восточная Якутия, Республика Саха (Якутия), Тарынное поле, золоторудное месторождение, геолого-технологическая характеристика, природные условия, перспективы проекта.

Золотодобывающая отрасль Республики Саха (Якутия) является одной из основных отраслей для социально-экономического развития региона. Недра Якутии уникальны по разнообразию, количеству и качеству полезных ископаемых. По данным «Якутнедра» выявлено 1823 месторождения 58 видов минерального сырья [1-4,10].

К числу территорий-лидеров золотодобычи в Республики Саха (Якутия) с 2010 года относится Оймяконский район республики, на территории которого находится объект нашей публикации – Тарынское рудное поле, относящееся к Верхне-Индибирскому горнопромышленному району, входящего в центральную часть Главного золотоносного пояса Северо-Востока России [1,4,5,6].

Район работ находится в 60 км на северо-восток от с. Оймякон и в 70 км на юг от пос. Усть-Нера, в среднегорной тундрово-таёжной зоне, на территории Оймяконского района Республики Саха (Якутия), в междуречье рек Большой и Малого Тарынов, на площади листов Р-54 VI. Его общая площадь составляет 101 км².

Цель исследований: показать геотехнологические условия месторождений Тарынского рудного поля, одного из крупнейших в Оймяконском районе на современном начальном этапе его освоения.

Результаты исследований. Основным полезным компонентом месторождения является золото, попутным – серебро, характеризуется достаточно простыми горнотехническими условиями, благоприятными для организации отработки открытым способом.

В пределах исследуемой площади известны разведанные золоторудные месторождения Тан, Малтан, Пиль, Мало-Тарынское, значительное количество перспективных недоизученных рудопроявлений, относящихся к малосульфидной золото кварцевой формации. Кроме этих объектов на площади известно значительное количество перспективных, но слабо изученных рудопроявлений золота. Междуречье рек Большой и Малый Тарыны является одной из наиболее изученных и экономически освоенных площадей Верхне-Индибирского горнопромышленного района.

В последние годы наиболее активно изучается Тарынское полигенное месторождение жильно-вкрапленных руд, в запасах которого существенную роль играют нетрадиционные для района вкрапленные руды с игольчатым арсенипитом [1,12,13]. При существующих технологиях извлечения золота, в настоящее время в районе успешно отрабатываются лишь золото кварцевые месторождения Бадран и Нагорное, руды которых относятся к легкообогатимым. Вместе с

тем в районе известно более 530 золото кварцевых рудопроявлений, перспективы которых однозначно не определены, что связано с отсутствием чётких критериев для их разбраковки.

Разработка таких критериев, помимо систематизации эмпирических данных, должна основываться на понимании генезиса объектов прогнозирования.

В районе работ повсеместно развиты многолетнемерзлые породы (ММП) мощностью до 500 м, а непосредственно в долинах местных водотоков – более 300 м [1,5,9-11]. Среднегодовая температура пород на глубине постоянных годовых теплооборотов (15-20 м) составляет, в зависимости от абсолютных отметок рельефа и экспозиции склонов – 6-9°C. В долинах рек Большой и Малый Тарыны отмечаются круглогодичные подрусловые талики, формирующие наледи в зимний период. Мощность деятельного слоя составляет на склонах северной экспозиции 0,2-0,3 м, южной 1-1,2 м, в долинах водотоков – 3-3,5 м.

Основные объекты исследований

Месторождение Мало-Тарынское. Расположено в 70 км южнее административного центра района – п. Усть-Нера на западном фланге Тарынского рудного поля, на правом борту р. Малый Тарын, на юго-западном фланге Тарынского рудно-россыпного узла, приуроченного к Адыча-Тарынской рудной зоне, в южной части Верхне-Индибирского горнопромышленного района Яно-Колымской золоторудной провинции.

Особенности геологического строения Мало-Тарынского рудного поля определяются его расположением в пределах Тарынской структурно-фациальной зоны на стыке Курдатской брахиантиклинали Эльгинского складчато-глыбового поднятия и Мало-Тарынской синклинали Тарыно-Эльгинского синклинория. В геологическом строении рудного поля принимают участие терригенные морские отложения карнийского и норрийского ярусов верхнего триаса, нижнеюрские отложения, а также континентальные отложения четвертичного возраста. Курдатская брахисинклинал входит на территорию своим юго-восточным окончанием, и представлена в западной части площади антиклинальной складкой восток-северо-восточного простирания с выходом в ядре наиболее древних в пределах площади пород лоны *Sirenites yakutensis*.

Наиболее интересными в промышленном отношении являются северо-западные зоны разрывов в бассейнах ручьёв Эгелях, Голубичный и Зелёный. Оруденение во всех случаях относится к мало-сульфидному типу золото кварцевой формации. [1, 6-8,11,12].

Рудные тела являются коренным источником крупной промышленной россыпи золота по р. Малый Тарын с запасами 35 т, в настоящее время практически отработанной. Рудные тела эшелонированные, имеют как крутое, так и изменчивое падение. По отдельным объектам наблюдается увеличение мощности и содержания золота на глубину. Рудные тела изучены до глубин 100 м и не оконтурены по падению, что предполагает возможность наращивания запасов золота на более глубоких горизонтах при более детальной разведке.

Известные рудные зоны Мало-Тарынского месторождения особенно четко выделяются на участке перегиба и совмещения одной из ветвей Адыча-Тарынской зоны разломов с зонами сдвиговых и взбросо-надвиговых деформаций. Протяженность минерализованной части зоны 4 км при мощности в десятки метров. В строении рудной части зоны участвуют зоны брекчирования, милонитизации, рассланцевания и участки тектонических штокверков. Границы рудных тел определяются исключительно по результатам опробования.

В пределах месторождения выделены два участка: Зеленый (на юго-восточном) и Голубичный (на северо-западном флангах), где проведены более детальные работы и выделено 12 рудных тел, которые прослежены горными выработками и скважинами по простиранию на расстояние 50-700 м, по падению – 30-270 м при средней мощности рудных тел – от 1,5 до 4 м. По сложности геологического строения месторождение Мало-Тарынского согласно «Классификации запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых» отнесено к 3 группе. Величина объемной массы для руд Мало-Тарынского месторождения принята равной 2,68 т/куб. м, значение влажности руд составляет 0,2%. При подсчете запасов полученное значение влажности не учитывалось. Золотое оруденение представлено свободным интерстициальным золотом, крупностью от 0,01 до 0,5 см.

На основании технологических испытаний руд, проведенных в «ЦНИГРИ», установлено, что комбинированная схема обогащения руд месторождения обеспечивает суммарное технологическое извлечение золота в «золотую головку» и на смолу – 96,09 %. Зачетное извлечение в сплав Доре, с учетом потерь, составляет – 94,4 %. Золото самородное, главным образом, умеренно высокопробное. В руде присутствуют самородки, наличие которых в отдельных пробах обуславливает ураганные содержания золота.

По состоянию на 1 января 2019 г. Государственным балансом РФ учитываются запасы для

открытой отработки золотых руд в количестве [1,7-10]:

золото

– категория С2: руда – 2994 тыс. тонн (ср. содержание – 4,188 г/т), золото – 12 540 кг;

– забалансовые: руда – 154 тыс. тонн, золото – 517 кг.

Прогнозные ресурсы месторождения составляют:

золото

– категория Р1 – 38 тонн;

– категория Р2 – 70 тонн;

серебро

– категория Р1 – 2717 кг.

Месторождение Тан. Расположено на северо-западном фланге Тарынского рудного поля, в междуречье руч. Ударница-Букет, левых притоков р. Большой Тарын, 5 км севернее Мало-Тарынского золоторудного месторождения и 10 км западнее золоторудного месторождения Дrajное, на юго-западном фланге Тарынского рудно-россыпного узла, приуроченного к Адыча-Тарынской рудной зоне, в южной части Верхне-Индибирского горнопромышленного района Яно-Колымской золоторудной провинции. В общем потенциале площади месторождения Тан доминируют объекты золотосурьмяного типа, второстепенную роль играют проявления золотой и золото-редкометальной минерализации. К площади месторождения приурочены головки россыпей золота по ручьям Ударница, Солнечный, Тычинка, Букет.

По количеству промышленных запасов россыпного золота, выявленного на россыпных месторождениях, площадь резко уступает другим участкам рудного поля. Детально разведанная часть месторождения Тан расположена на правобережье руч. Ударница. Выделено 2 рудных тела, которые имеют, соответственно, протяженность 500 и 430 м, среднюю мощность – 1,85 и 1,17 м, среднее содержание золота – 9,82 и 8,32 г/т, сурьмы – 2,77 и 3,31 %.

По состоянию на 1 января 2018 г. Государственным балансом РФ учитываются жильные легкообогатимые запасы золота и попутной сурьмы по месторождению Тан для подземной отработки в количестве [1,7-10]:

золото

• категория С1: руда – 292 тыс. тонн (ср. содержание – 9,288 г/т), золото – 2 712 кг;

• категория С2: руда – 165 тыс. тонн, золото – 1711 кг.

сурьма

• категория С1: руда – 292 тыс. тонн (ср. содержание – 3,045 %), сурьма – 8 890 тонн;

• категория С2: руда – 165 тыс. тонн, сурьма – 4056 тонн.

Прогнозные ресурсы месторождения Тан составляют [1,7-10]:

ЗОЛОТО

- категория P1 – 18 тонн;
- категория P2 – 95 тонн (ср. содержание 3,37 г/т).

СУРЬМА

- категория P1 – 140,75 тыс. тонн.
- категория P2 – 79,2 тыс. тонн.

Месторождение. Пиль и участок Зона Левобережная.

В северо-западной части зоны находится золоторудное месторождение. Пиль, представляющее пологопадающее (30-35°) кварцевую жилу с невыдержанной мощностью и крайне неравномерными содержаниями золота, в отдельных пробах достигающими 100 г/т и более. Среднее содержание золота в разведанных запасах – 39,08 г/т. Во вмещающих породах, несущих прожилковое окварцевание, содержание золота достигает 7,0-10,0 г/т. Жила характеризуется изменчивостью мощности – от 0,1 до 1,5 м и крайне неравномерным распределением золота. По данным бурения на флангах жила выклинивается на глубинах от 35 м на северном до 60 м на юго-западном фланге.

Часть месторождения – Зона Левобережная северо-западного простирания расположена на левобережье р. Большой Тарын, имеет площадь 44,71 кв. км и дренируется ее левыми притоками руч. Дора, пиль, Малютка, Струйка, Возвратный, в долинах которых установлены богатые промышленные россыпи золота. В целом рудная Зона Левобережная представляет собой протяженную (около 4 км) полосу шириной 100-200 м, ограниченную ведущими плоскостями разломов (ЮЗ и СВ минерализованные ветви), которые включают тектонически и гидротермально проработанные пласты песчаников с жильно-прожилковой золотокварцевой минерализацией.

Рудоносная зона Перевальная выделяется на левобережье р. Большой Тарын, в междуречье руч. Дора и руч. Ударник. По типу гидротермалитов и характеру геохимического поля подобна северо-западному флангу рудоносной зоны Возвратный-Мениск, являясь, по существу его продолжением на северо-запад. Юго-восточный фланг зоны Перевальной пространственно совмещен с локальным возрастанием продуктивности (до 40-50 г/м²) в нижней части россыпи золота руч. Дора. В пределах зоны установлен ряд контрастных геохимических аномалий золота с содержаниями 0,01-0,1 г/т. Общая протяженность структуры – 3,7 км, ширина – до 300 м.

Рудоносная зона Июньская выделяется в междуречье ручьев Дора и Ударник, протягиваясь от левобережья руч. Июньский (правый приток руч. Ударник) до руч. Дора. Июньская зона является, по существу, северо-западным продолжением Зоны Левобережная. Характеризуется широким

развитием прожилкового окварцевания и наличием контрастных геохимических аномалий золота с содержаниями 0,01-0,1 г/т. Общая протяженность структуры – 4,0 км, ширина – 500 м. По особенностям геологического строения, характеру геохимического поля, уровню прожилкового прокварцевания пород зона Июньская подобна северо-западному флангу Зона Левобережная.

По состоянию на 1 января 2019 г. Государственным балансом РФ учитываются запасы для подземной отработки золотых руд в количестве: [1,7-10]:

- категория C1: руда – 12 тыс. тонн (ср. содержание – 39,083 г/т), золото – 469 кг.

Прогнозные ресурсы рудного золота месторождения. Пиль и участка Зона Левобережная по состоянию на 01.01.2012 г. составляют:

- категория P1 – 20 тонн,
- категория P2 – 127 тонн.

Россыпные месторождения и проявления золота распространены в пределах площади весьма широко и имеются как в долинах основных водотоков р.р. Большой и Малый Тарын так и во всех мелких водотоках с их притоками, дренирующих рудные поля: руч. Дора, Пиль, Кус-Юрюе, Маскыл, 29 Эгелях, Голубичный, Зелёный, Красивый. Среди россыпей выделяются уникальные, такие как россыпь Большой Тарын – Малый Тарын и мелкие. Россыпи как пойменные, так и террасовые, иногда с несколькими уровнями террас – россыпь Малый Тарын-Верх. Россыпь руч. Эгелях является наиболее протяженной в правых притоках р. Мал. Тарын и достигает истоков ручья до пересечения его долиной продолжения рудоносных структур рудопоявления Эгелях. Длина россыпи 2,5 км, ширина колеблется от 10 до 100 м. Средняя мощность торфов 10,0 м, песков 1,7 м, содержание золота 12,5г/м³. Пробность изменяется от 837 до 903, составляя в среднем 884 [7-10]:

Важным условием геоэкологической политики освоения при достижении максимальной экономической эффективности являются не только решение геотехнологических проблем, но и рациональная природоохранная политика, включающая экологический мониторинг [13-17]:

- оформление всей разрешительной документации в соответствующих территориальных органах, согласно требованиям действующих законов и инструкций;
- применение современных способов работ, максимально уменьшающих степень и сроки агрессивного воздействия геолого-разведки на окружающую среду;
- ограничение минимально необходимыми объемами прокладки дорог и переездов через местные водотоки;

- применение технических средств (поддонов, герметичных емкостей, устойчивых к разъеданию уплотнителей, быстродействующих сорбционных материалов и т.п.), препятствующих загрязнению окружающей среды горюче-смазочными материалами и химическими реагентами, применяющимися в процессе работы техники и бурения;

- применение только сертифицированных промышленных буровых реагентов с доказанными безвредными воздействиями и безопасными химическими свойствами;

- размещение бурового шлама в зумпфах с перекрытием рыхлыми инертными отложениями и почвенно-грунтовыми смесями, с последующим самозарастанием местной растительностью;

- использование действующих производственных и жилищно-бытовых сооружений, расположенных вне пределов водоохраных зон;

- применение биологической очистки хозяйственно-бытовых стоков;

- применение оборотной воды в циклах, связанных с бурением;

- соблюдение установленных нормативов загрязнения окружающей среды и использования природных ресурсов при ведении геолого-разведочных работ;

- устройство локальных очистных и накопительных сооружений для производственных стоков в виде земляных дамб и зумпфов;

- проходку буровых площадок и дорог к ним осуществлять только в пределах земельного отвода;

- соблюдать проектные размеры буровых площадок и подъездных путей к ним;

- проводить экстренную сорбционную обработку и зачистку аварийных разливов горюче-смазочных материалов;

- выполнять утилизацию бытового мусора, отработанных смазочных материалов и буровых растворов;

- проводить складирование в специальных помещениях отработанных горюче-смазочных материалов, аккумуляторов и металлического лома;

- выполнять санитарную зачистку поверхности рабочей зоны после завершения бурения;

- соблюдать правила противопожарной безопасности с целью предохранения растительного покрова от пожаров;

- возмещать потери за нарушенные земли в процессе проведения работ.

Особое внимание уделять рекультивации – по завершению работ производить санитарную очистку объектов работ, буровых площадок, оборудование и материалы вывозятся, ликвида-

цию туалетов и выгребных ям с засыпкой грунтом после окончания полевых работ.

Рекультивация горных выработок проводится в объеме 40 % канав и траншей в связи с тем, что после окончания поисково-оценочных работ намечается продолжение работ. Таким образом предусмотрена организация проблемно-ориентированного геоэкологического мониторинга.

Заключение

В целом производство намечаемых работ по освоению месторождения является одним из наиболее эколого-опасных для окружающей природной среды. Специфика геоэкологических последствий горнодобывающей отрасли для северных территорий охарактеризована в специальных публикациях [18-20].

Применительно к конкретным природным условиям Тарынского рудного поля будут оказаны следующие преобразования геосистем:

- выбросы в атмосферу загрязняющих веществ при работе машин и механизмов;

- нарушение почвенно-растительного слоя;

- механическое нарушение верхних горизонтов горных пород;

- забор воды для производственных и бытовых нужд;

- сброс хозяйственно-бытовых стоков на рельеф;

- негативное воздействие на окружающую среду при вырубке леса;

- нарушение естественных условий обитания диких животных и птиц.

Вышеперечисленные виды воздействия и загрязнения пока на начальной стадии освоения не могут существенно изменить динамику естественных природных процессов в районе ГРР и нарушить существующие структуры и продуктивности геоэкологических систем. Однако в дальнейшем, по мере расширения масштабов и роста степени воздействия, уровень нарушений неизбежно возрастет.

Оценка степени оказываемого экологического воздействия на окружающую среду будет производиться на основании имеющихся справочных данных, опубликованных сведений о современном состоянии природной среды в районе работ и на прилегающих территориях, обычной спецификой горно-добывающей деятельности [18-20].

Добыча золота на Тарынском рудном поле в Якутии в ближайшее время предположительно может превысить 9 тонн в год и внесет существенный вклад в золотодобывающую отрасль республики. ^{XXI}

Литература

1. Акимов Г.Ю., Крючков А.В., Крылова Т.Л., Сидоров А.А. Тарынское месторождение жильно-вкрапленных руд – новый тип золотого оруденения в Верхне-Индигирском районе Якутии. // Доклады Академии наук. 2004. Т. 397. С.363-368.
2. Аркадий Васильев. Якутии предложили организовать переработку золотосодержащих руд. Электронный ресурс. URL: - <http://ysia.ru/yakutii-predlozhili-organizovat-pererabotku-zolotosoderzhashhih-rud/>. Источник: <http://ysia.ru/>. Дата обращения: 27.03.2019.
3. Беневольский Б.И. Золото России: проблемы использования и воспроизводства минерально-сырьевой базы. Изд. 2-е, исправл. и доп. – М.: ЗАО «Геоинформмарк», 2002. – 464 с.
4. Гамянин Г.Н. Минералого-генетические аспекты золотого оруденения Верхояно-Колымских мезозойд // М., ГЕОС, 2001. 201 с.
5. Месторождение семидесятой широты. Электронный ресурс. URL:<https://yesaul.livejournal.com/544011.html>.Источник: <https://yesaul.livejournal.com/>. Дата обращения:16.10.2017.
6. Мурзин Ю.А., Нерадовский Л.Г., Железняк М.Н. «Температурное поле и строение криолитозоны Янского плоскогорья». Сборник трудов IV Общероссийской конференции изыскательских организаций 16-17 декабря 2008г, «Перспективы развития инженерных изысканий в строительстве в Российской Федерации». М., ПНИИС, 2009, С.53-56.
7. Тыллар А.Г., Никифорова В.В. Об инновационной целесообразности расширения Томпонского горнопромышленного района в Восточной Якутии // Материалы I научно-практической конференции «Проблемы формирования инновационной экономики региона». (г.Магадан, 2-3 декабря 2009 г.). -Магадан: Новая типография, 2010. - С.60-64.
8. Фридовский В.Ю., Г.Н.Гамянин, Л.И. Полуфунтикова Структуры, минералогия и флюидный режим формирования руд полигенного Малотарынского золоторудного поля (Северо-восток России) // Тихоокеанская геология, 2015 г., том 34, №4, с. 39-52.
9. Фридовский В.Ю. Структуры рудных полей и месторождений Яно-Колымского рудного пояса (Восточная Якутия – территория Верхояно-Колымской коллизионной области) // Металлогения рядов коллизионных геодинамических обстановок. В 2-х томах. Т.1 // М.: ГЕОС, 2002. – С. 6-241.
10. Фридовский В.Ю., Гамянин Г.Н. Длительно развивающиеся разломные зоны Тарынского рудного узла и обстановки локализации оруденения // Материалы ВНПК «Геология и минерально-сырьевые ресурсы Северо-Востока России» // Якутск: Издательский дом СВФУ, 2013. Т. 2. С. 246-252.
11. Якутский Тарын после 2019 года может давать более 9 тонн золота. Электронный ресурс.URL: <https://news.ykt.ru/article/48324>. Источник: <https://news.ykt.ru>. Дата обращения:14.02.2020.
12. Геокриология СССР. Северо-Восток Сибири // М.: «Недра», 1989 – 414 с.
13. Мерзлотно-ландшафтная карта Якутской АССР масштаба 1:2 500 000 // М.: ГУГК, 1991. – 2 л.
14. Шац М.М. Современная динамика многолетнемерзлых пород при природопользовании на Севере Сибири // Маркшейдерия и недропользование. Январь-февраль 2019, №1(99), С.41-47.
15. Шац М.М. ЭКОЛОГО-ГЕОКРИОЛОГИЧЕСКАЯ СПЕЦИФИКА ПРИ НЕДРОПОЛЬЗОВАНИИ НА СЕВЕРЕ СИБИРИ // Недропользование XXI век, 2020, №2, С.130-141.
16. Шац М.М., Сериков С.И., Скачков Ю.Б. РОЛЬ ТЕХНОГЕНЕЗА В СОВРЕМЕННОЙ ДИНАМИКЕ МЕРЗЛЫХ ТОЛЩ ГОРНЫХ ПОРОД. //1 КЛИМАТ И ПРИРОДА, 4 (25), 2017, С.3-16.
17. Шац М.М., Скачков Ю.Б. ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ПРИ ОСВОЕНИИ МИНЕРАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ КРИОЛИТОЗОНЫ // Недропользование XXI век, 2021, №1-2,С.16-21.
18. Волков А. В., Сидоров А. А. Поисковая модель золото-сульфидных месторождений вкрапленных руд Арктической зоны России // Арктика: экология и экономика. – 2017. – № 2 (26). – С. 62-75.
19. Соложенкин П. М. Экологические аспекты рациональной переработки золотосурьмяных руд // ВИНТИ. 2006. № 2. С. 2-122.
20. Тарынское рудное поле. Электронный ресурс. URL:https://nedradv.ru/nedradv/ru/find_place?obj=76537a414023f2809s14b833d90bcbf1. Источник: <https://nedradv.ru/>. Дата обращения: 18.05.2021.ий район

UDC: 551.345 + 624.131

M. M. Shatz, Cand. geogr. Sci., Leading Researcher, P. I. Melnikov Permafrost Institute SB RAS, mmshatz@mail.ru

ENVIRONMENTAL AND TECHNOLOGICAL CONDITIONS FOR THE DEVELOPMENT OF THE GOLD ORE TARYN DEPOSIT (EASTERN YAKUTIA)

Abstract: The article presents the results of studies of the Taryn gold field (Eastern Yakutia) at the initial stage of development. It has been established that natural conditions during this period are characterized by a low degree of disturbance of geosystems. The geological and technological characteristics of the main deposits of the ore field are given.

Keywords: Eastern Yakutia, Republic of Sakha (Yakutia), Taryn field, gold deposit, geological and technological characteristics, natural conditions, project prospects.



Комлев В.Н.
инженер-физик
komleva_ar@mail.ru

РАДИОАКТИВНЫЕ ОТХОДЫ И НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЕ: ЗАКОН И ПОРЯДОК

Рассмотрена правовая основа и фрагменты фактического решения проблемы захоронения особой опасности радиоактивных отходов в России. В контексте обоснования и оформления лицензии Роснедр КРР 16117 ЗД на захоронение радиоактивных отходов в недрах участка «Енисейский» промышленной территории ЗАТО Железногорск Красноярского края. Текст статьи ограничен рамками рассмотрения «Закон «Об обращении с радиоактивными отходами» – Закон «О недрах» – лицензия на пользование недрами для захоронения радиоактивных отходов – нарушения, связанные с задокументированным невыполнением геологоразведочной стадии геологического изучения недр». При рассмотрении адекватности лицензии именно Роснедр такое условие необходимо и достаточно. Скрытый или очевидный отход от Закона «О недрах» при решении задач захоронения радиоактивных отходов часто ведет к ошибкам и попыткам их замаскировать.

Ключевые слова: Захоронение радиоактивных отходов, геология, недра, гнейсы, подземное строительство, безопасность, право, лицензия, экспертиза, Росатом, участок «Енисейский», Красноярск, Россия.

Правовая основа российской системы лицензирования захоронения твердых высокоактивных долгоживущих и твердых среднеактивных долгоживущих радиоактивных отходов (РАО 1-2 классов опасности)

Федеральный закон от 11.07.2011 № 190-ФЗ «Об обращении с радиоактивными отходами».

Статья 12. Требования к захоронению радиоактивных отходов.

2. Захоронение твердых высокоактивных долгоживущих и твердых среднеактивных долгоживущих радиоактивных отходов осуществляется в пунктах глубинного захоронения радиоактивных отходов, обеспечивающих локализацию таких отходов в соответствии с Законом Российской Федерации от 21 февраля 1992 года N 2395-1 «О недрах».

Комментарий к ст.12 п.2.

Как только сложное многоэтапное обращение с РАО-1,2 доходит до захоронения, как только функцией создаваемого объекта объявляется обоснование (наука) или реализация (промышленность) захоронения РАО – главенствующая роль и необходимость неукоснительного соблюдения переходит к Закону «О недрах».

Федеральный закон от 11.07.2011 № 190-ФЗ «Об обращении с радиоактивными отходами».

Статья 13. Требования к обеспечению безопасности пунктов захоронения радиоактивных отходов.

2. Выполнение работ по сооружению и эксплуатации пунктов глубинного захоронения радиоактивных отходов, закрытию таких пунктов захоронения осуществляется при наличии лицензии на пользование недрами, выданной в

соответствии с законодательством Российской Федерации о недрах, и разрешения (лицензии) на право ведения работ в области использования атомной энергии, выданного в соответствии с законодательством Российской Федерации в области использования атомной энергии.

Комментарий к ст. 13 п. 2.

Лицензия на пользование недрами – см. далее.

Разрешение (лицензия) на право ведения работ в области использования атомной энергии. В случае пунктов глубинного захоронения РАО – это такие виды деятельности в области использования атомной энергии (Федеральный закон «Об использовании атомной энергии» от 21.11.1995 N 170-ФЗ. Статья 26. Разрешения (лицензии) на право ведения работ в области использования атомной энергии): закрытие пунктов захоронения радиоактивных отходов, обращение с радиоактивными отходами при их хранении, переработке, транспортировании и захоронении, проведение экспертизы безопасности (экспертизы обоснования безопасности) ПГЗРО в части обозначенных выше видов деятельности в области использования атомной энергии.

Федеральный закон от 11.07.2011 № 190-ФЗ «Об обращении с радиоактивными отходами».

Статья 13. Требования к обеспечению безопасности пунктов захоронения радиоактивных отходов.

3. Требования к обеспечению безопасности при размещении, сооружении, эксплуатации и закрытии пунктов захоронения радиоактивных отходов определяются соответствующими техническими регламентами, законодательством в области охраны окружающей среды, федеральными нормами и правилами.

Комментарий к статьям 12 (п.2) и 13 (п.2 и п.3) Закона № 190-ФЗ.

В такой приоритетности и последовательности предусмотрено в сфере захоронения РАО-1,2 применять нормы недропользования и другие.

В контексте раздела «Правовая основа российской системы...» представительному ряду федеральных, региональных и местных ведомств и учреждений, причастных к работам в целом и конкретным действиям по ПГЗРО в частности, каждому в отдельности и напрямую (преимущественно в интервале 20.02.2023 – 27.02.2023), была высказана просьба «разъяснить соответственно Закону «О порядке рассмотрения обращений граждан РФ» правовую ситуацию в связи с обоснованием создания в Красноярском крае федерального пункта глубинного захоронения радиоактивных отходов и предполагаемыми допущенными нарушениями (прилагаемые файлы «Енисейский_ПравовойФундамент» и «Енисейский_Недропользование»)). Файлы «Енисейский_ПравовойФундамент» и «Ени-

сейский_Недропользование» – версии статей В.Н. Комлева «Радиоактивные отходы: занимательная юриспруденция» и «Уникальное недропользование (экспертиза документов)» на сайте PROAtom. Ответы на обращения либо отсутствовали совсем, либо были «разнообразные не те». Суть просьбы пока полностью осталась без разъяснений. Бывает..., но: «Ведь порою и молчание. Нам понятней всяких слов».

Хронология оформления основных документов по участку «Енисейский»

1. Первая лицензия КРР № 01696 ТП на геологическое изучение недр (ГИН) непосредственно и изначально заданного участка «Енисейский» (установленной площадью 64,14 кв. км) была выдана 26.12.2006 (пользователь недр ГХК, Горно-химический комбинат Росатома).

2. Федеральная целевая программа «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2008 год и на период до 2015 года», ФЦП ЯРБ-1 (2007 год).

3. Разработана и утверждена «Декларация о намерениях» строительства объекта окончательной изоляции РАО (2008 год).

4. Разработка «Обоснования инвестиций» на строительство объекта (2010 год).

5. Протокол ГКЗ (Государственной комиссии по запасам) Роснедра (оценочная стадия ГИН, 2012 год, рекомендована разведка).

6. Схема территориального планирования в области энергетики (2013 год).

7. Лицензия КРР 15864 ЗП с целевым назначением: геологическое изучение и оценка пригодности Енисейского участка для строительства и эксплуатации подземных сооружений, не связанных с добычей полезных ископаемых (ФГУП «НО РАО», национальный оператор по обращению с радиоактивными отходами, 2015 год).

Согласно п. 3.2.1 Условий пользования недрами, являющихся Приложением № 1 к лицензии КРР 15864 ЗП, пользователь недр был обязан обеспечить разработку и утверждение проектной документации на геологическое изучение участка недр, предусматривающей этап опытно-промышленного захоронения радиоактивных отходов в выбранный пласт-коллектор архейских отложений (письмо Росгеолэкспертизы № ДН-03/3828 от 17.03.2023).

8. Материалы обоснования лицензии на размещение и сооружение не относящегося к ядерным установкам пункта хранения РАО, создаваемого в соответствии с проектной документацией на строительство объекта окончательной изоляции РАО (Красноярский край, Нижне-Канский массив) в составе подземной исследовательской лаборатории (включая материалы оценки воздействия на окружающую среду), МОЛ-2015.

9. Положительное заключение государственной экологической экспертизы по МОЛ-2015, утвержденное приказом Росприроднадзора от 07.12.2015 № 994.

10. Протокол ГКЗ Роснедра № 4523-пс от 03-02-2016, наиболее полное на сегодня рассмотрение ГКЗ геологических данных поисковой, оценочной стадий ГРП и проектно-изыскательских работ для стадии «Проектная документация», «Утверждение заключения государственной геологической экспертизы...» (рекомендованная деятельность – геологоразведка и опытно-промышленное захоронение РАО).

11. Распоряжение Правительства Российской Федерации № 595-р от 6-04-2016 «на право пользования недрами Енисейского участка для захоронения радиоактивных отходов», «в установленном порядке». Установленный порядок лицензирования в данном случае начинался с разработки Материалов обоснования лицензий МОЛ-2015.

12. Лицензия Роснедр КРР 16117 ЗД от 22-07-2016, лицензируемая деятельность: «захоронение РАО».

13. Документ научной поддержки ДНП-5-3476-2016 (НТЦ ЯРБ, Научно-технический центр ядерной и радиационной безопасности) «Экспертное заключение об обосновании деятельности по размещению пункта хранения радиоактивных отходов».

14. Лицензия Ростехнадзора ГН-01,02-304-3318 от 27-12-2016, лицензируемая деятельность: «размещение и сооружение пункта хранения РАО».

15. Утверждение стратегии [1] создания пункта глубинного захоронения радиоактивных отходов (2018 год).

16. Положение о научном руководителе работ по проекту создания ПГЗРО (ИБРАЭ РАН – Институт проблем безопасного развития атомной энергетики, утверждено приказом Госкорпорации «Росатом» № 1/1161-П от 05.10.2020).

17. В соответствии с лицензией КРР 16117 ЗД пользователем недр был составлен «Технический проект на строительство и опытно-промышленную эксплуатацию подземного сооружения, не связанного с добычей полезных ископаемых, на Енисейском участке Нижне-Канского массива (Красноярский край)» (ФГУП «НО РАО»), который был согласован протоколом Центральной комиссии по согласованию проектной документации на разработку месторождений подземных вод, строительство и эксплуатацию подземных сооружений, не связанных с добычей полезных ископаемых (ЦКР-МПВ и ПС) от 25.03.2021 № 08-21/ПС сроком на 5 лет. Также указанным протоколом ЦКР-МПВ и ПС отмечена необходимость после завершения этапа опытно-промышленной эксплуатации и

разведки по результатам выполненных работ представить материалы о геологической информации на государственную экспертизу в установленном порядке (письмо Минприроды № 11-50/3074-ОГ от 16.03.2023).

Комментарий

Видна по факту странной последовательности (от опережающего назначения/решения к обоснованию, стратегии и научному руководству, а не наоборот) схема работ, хроническая незаконченность геологического изучения недр – первого шага обоснования безопасности захоронения РАО. Кроме того, появляются разночтения в трактовке функции объекта. Не все документы напрямую или косвенно относятся к регулированию недропользования и учитывают его законы (соответствуют его нормам), как можно было бы ожидать, исходя из Закона «Об обращении с РАО» и Закона «О недрах».

Особое значение Закона РФ «О недрах» для ЗАТО Железногорск

Статья 8 Закона «О недрах». Ограничения и запреты пользования недрами.

Пользование отдельными участками недр может быть ограничено или запрещено в целях обеспечения обороны страны и безопасности государства, рационального использования и охраны недр, охраны окружающей среды.

Пользование недрами на территориях населенных пунктов и зон с особыми условиями использования территорий может быть ограничено или запрещено в случаях, если это пользование может создать угрозу безопасности жизни и здоровья населения, охране окружающей среды, сохранности зданий и сооружений, включая сохранность горных выработок, буровых скважин и иных сооружений, связанных с использованием недрами.

Комментарий к ст. 8 для условий ЗАТО Железногорск.

В ЗАТО Железногорск, дополнительно к существующему полигону захоронения жидких РАО «Северный» Горно-химического комбината, ожидают пункты захоронения еще трех видов. Два пункта глубинного (глубже 100 метров, Закон «Об обращении с радиоактивными отходами») захоронения твердых РАО (ПГЗРО): 1) федеральный на участке «Енисейский» и 2) локальный от ГХК – «реакторов по варианту радиационно-безопасного захоронения на месте» [2]. А также – приповерхностный ПЗРО от ГХК как результат вывода из эксплуатации (главное – засыпка грунтом на месте) открытых бассейнов-хранилищ жидких РАО [3].

Законодательные ограничения и запреты ст. 8 необходимо учитывать при обосновании федерального ПГЗРО как нового, не планиро-

вавшегося ранее объекта пользования недрами в контуре промышленной территории ЗАТО Железногорск; действующие там оборонные комплексы – Горно-химический комбинат Росатома и АО «Информационные спутниковые системы» (горные выработки и скважины) – это в будущем непосредственно окружающая такой ПГЗРО среда при сложной и недостаточно изученной геологической ситуации участка, а также тревожной геополитической ситуации в мире.

Специалисты ФГУП «НО РАО» сообщают (с. 4 документа «Таблица учёта замечаний, предложений и комментариев, выявленных по объекту общественных обсуждений, дополнительные к поставленным вопросам позиции» (https://www.admk26.ru/UserFiles/arc/inform/2022/11/tablica_ucheta_zamechaniy.PDF) и сайт <https://www.norao.ru/press>, 14.11.2022, Итоги общественных обсуждений по вопросам создания НКМ-лаборатории подвели на круглом столе в Красноярске): «В настоящий момент еще не сформировано обоснование долговременной безопасности размещения упаковок с РАО в недрах выбранного участка. Одной из задач, которую нужно будет решить..., является разработка такого документа и технологических схем обращения с радиоактивными отходами. И таких задач сотни».

Закон «О недрах» и пользование недрами по лицензии Роснедр КРР 16117 ЗД

Статья 6 Закона «О недрах» «Виды пользования недрами» не предусматривает лицензирование вида пользования недрами «захоронение радиоактивных отходов».

Комментарий к ст. 6.

Наиболее функционально близким к виду пользования недрами лицензии Роснедр КРР 16117 ЗД является вид недропользования ст. 6 «эксплуатация подземных сооружений, не связанных с добычей полезных ископаемых, в том числе подземных сооружений для захоронения радиоактивных отходов (пунктов захоронения)». В титульном листе этой лицензии прямо записано, что она выдана «на срок эксплуатации хранилища». Кроме того, именно для эксплуатации установлено: «Участок недр предоставляется в пользование без ограничения срока: 1) для строительства и эксплуатации подземных сооружений, не связанных с добычей полезных ископаемых, в том числе подземных сооружений для захоронения радиоактивных отходов, отходов производства и потребления I-V классов опасности» (ст. 10 Закона «О недрах»).

Но вид пользования недрами «эксплуатация» предполагает завершающий этап процесса лицензирования, требующий опережающего создания комплекса условий, которые отсутствовали на момент получения лицензии и отсут-

ствуют в настоящее время (нет результатов ни разведочной стадии геологического изучения, ни специальных исследований в подземной лаборатории, как нет ни самой лаборатории, ни самого федерального ПГЗРО!).

Статья 23 Закона «О недрах» «Основными требованиями по рациональному использованию и охране недр являются».

1) Соблюдение установленного законодательством порядка предоставления недр в пользование и недопущение самовольного пользования недрами.

Комментарий к ст. 23.

Не соблюдены в должном формате согласно Закону «О недрах» фиксирование вида пользования недрами участка «Енисейский», этапы работ по лицензированию и созданию ПГЗРО, стадийность (см. далее) предпроектного изучения геологических условий, порядок получения права пользования недрами (см. далее).

Методические указания Минприроды (подзаконный акт Закона «О недрах») по лицензированию пользования недрами для целей, не связанных с добычей полезных ископаемых, от 1998 года и пользование недрами по лицензии Роснедр КРР 16117 ЗД

Пункт 1.7. Право пользования недрами может быть приобретено на основании:

а) решения Правительства Российской Федерации по согласованию с органами исполнительной власти субъектов Российской Федерации, территория которых будет использоваться для целей захоронения радиоактивных отходов и токсичных веществ в глубоких горизонтах, обеспечивающих их локализацию.

Комментарий к п. 1.7.

Правительство Красноярского края, судя по письму Администрации Президента РФ № А26-02-99156691 от 27.09.2019 (Краевой радиологический центр, <https://vk.com/wall-66070450> от 01.10.2019), по обращению Минприроды, Росприроднадзора или распорядителя недр (Роснедра) согласования каких-либо документов, в том числе Распоряжения Правительства Российской Федерации от 6 апреля 2016 г. № 595-р и лицензии Минприроды КРР 16117 ЗД (документы о праве пользования недрами для захоронения РАО), не осуществляло.

В материалах лицензии Роснедр КРР 16117 ЗД от 22.07.16 (со странным сроком действия, по результатам поисковой и оценочной стадий геологического изучения), вопреки правилам не обозначены выдавшие/согласовавшие разрешение на пользование земельным участком органы (Российский Федеральный Геологический Фонд, Сводный государственный реестр участков недр и лицензий, Информация о лицензии

KPP161173Д, Наименование органа, выдавшего разрешение на пользование земельным участком – информация отсутствует, Наименование органа государственной власти субъекта Российской Федерации – информация отсутствует).

Закон «О недрах» и необходимость разведочной стадии (геологоразведки) для достоверного опережающего геологического изучения недр участка «Енисейский»

Статья 23 Закона «О недрах» «Основными требованиями по рациональному использованию и охране недр являются».

2) Обеспечение полноты геологического изучения, рационального комплексного использования и охраны недр; 3) проведение опережающего геологического изучения недр, обеспечивающего достоверную оценку... свойств участка недр, предоставленного в пользование в целях, не связанных с добычей полезных ископаемых; 8) предотвращение загрязнения недр при проведении работ, связанных с использованием недр, особенно при подземном... захоронении отходов I-V классов опасности.

Комментарий к ст. 23.

Недропользователю неоднократно давались рекомендации о полноте геологического изучения и разведочной стадии работ по участку «Енисейский», тщательном натурном исследовании характеристик пород и массива на путях предполагаемой миграции радионуклидов в направлении разгрузки подземных вод от ПГЗРО, обеспечении гидрогеологических моделей фактическими данными и другие.

Важность полновесного геологического изучения участка «Енисейский», и необходимые для этого размеры участка зафиксированы в двух лицензиях Минприроды на геологическое изучение – KPP № 01696 ТП от 2006 г. (пользователь недр ГХК) и KPP 15864 ЗП от 2015 г. (пользователь недр ФГУП «НО РАО»). Например, разведочные работы планировались окончанием уже на 2012 год – см. протокол ГКЗ (Государственная комиссия по запасам) № 4523 от 03-02-2016, с. 37-38, А.А. Рошаль (<https://yadi.sk/i/Nbvvh8zrv58tIQ>).

Рекомендации по полноте опережающего геологического изучения и геологоразведке не выполнялись. Существенное условие лицензий KPP № 01696 ТП и KPP 15864 ЗП – изучение участка на предпроектной (до разработки проекта ПГЗРО) разведочной стадии - не выполнено.

Протокол ГКЗ № 4523 от 03-02-2016 с замечаниями по результатам поисковой и оценочной стадий геологического изучения и рекомендацией выполнить разведочную стадию (до сих пор не выполнена) признал участок «Енисейский» лишь потенциально пригодным

(Решение комиссии, с. 2). Пункт 2.1. протокола: «Подтвердить, что... участок «Енисейский» является потенциально пригодным для глубинного захоронения радиоактивных отходов в объеме до 160 тыс. куб. м в архейских гнейсах...».

В справке В.А. Караулова (приложение 3 протокола) применен термин «пригодный». Такое же несоответствие формулировке протокола ГКЗ допущено в приложении № 10 (раздел II) к лицензии KPP 16117 ЗД и дважды со ссылками на протоколы ГКЗ 2012 и 2016 годов в статье [4]. Термин «пригодный» неоправданно стал основным в научно-технической литературе и СМИ.

Недропользователем предложение о экспериментальном захоронении РАО официально не принято. Пункт 2.2. протокола: «Признать возможным проведение разведки и опытно-промышленной эксплуатации захоронения радиоактивных отходов участка «Енисейский» ...». Недропользователем предложения о разведке участка и экспериментальном захоронении РАО по состоянию на 2016 год официально не приняты, лицензия KPP 15864 ЗП по заявлению ФГУП «НО РАО» в 2019 году была аннулирована.

Методические указания Минприроды (подзаконный акт Закона «О недрах») по лицензированию пользования недрами для целей, не связанных с добычей полезных ископаемых, от 1998 года и необходимость разведочной стадии (геологоразведки) для достоверного опережающего геологического изучения недр участка «Енисейский»

Пункт 7.1.3. Для систем подземного захоронения твердых вредных веществ и отходов контуры горного отвода определяются на основе прогнозирования геомеханического, теплового, радиационного и других возможных видов воздействия хранилища на окружающие участки недр, с учетом обеспечения допустимого уровня такого воздействия.

Пункт 7.3.2. Для систем подземного захоронения твердых вредных веществ и отходов предусматриваются: а) выбор участка недр, сложенного практически водонепроницаемыми породами.

Комментарий к п. 7.1.3 и 7.3.2.

Надежное прогнозирование гидрогеологического воздействия ПГЗРО на окружающие участки недр, особенно на путях разгрузки подземных вод, выполнить нельзя (как и определение контуров горного отвода) без фактических характеристик массива, которые для сопряженных с ПГЗРО пород в должном объеме могут быть получены только в результате геологоразведки. Аналогично убедительно натурными исследованиями доказывают и требуемую водонепроницаемость (или ее отсутствие) пород участка «Енисейский» и соседних.

Методические рекомендации Минприроды (подзаконный акт Закона «О недрах») по обоснованию выбора участков недр для целей, не связанных с добычей полезных ископаемых, от 2007 года и необходимость разведочной стадии (геологоразведки) для достоверного опережающего геологического изучения недр участка «Енисейский»

Пункт 3.1.2.4. Пригодными для захоронения твёрдых отходов на специально сооружаемых подземных полигонах являются тектонически ненарушенные участки недр, сложенные практически водонепроницаемыми породами (нетрещиноватые магматические породы), исключающие контакт отходов с подземными водами. Гнейсы не относятся к рекомендованным породам.

Комментарий к п. 3.1.2.4.

Гнейсы не входят в перечень пригодных для захоронения РАО геологических структур согласно Методическим рекомендациям по обоснованию выбора участков недр для целей, не связанных с добычей полезных ископаемых. Поэтому распорядитель недр, видимо, не имел формального права принимать в 2016 г. материалы заявки на лицензию относительно захоронения РАО на участке «Енисейский» и должен был внимательно рассматривать в 2006 (с учетом уже готовившихся рекомендаций) и 2015 годах материалы двух заявок на лицензии геологического изучения этого участка.

Отсутствие или наличие в будущем контакта РАО с подземными водами и последствия возможного контакта в условиях метаморфических пород (гнейсов) участка «Енисейский» нельзя надежно прогнозировать без выполнения рекомендаций протокола ГКЗ № 4523 от 03-02-2016 о геологоразведке участка и, в частности, массива на путях возможного питания целевого интервала для строительства ПГЗРО и предполагаемой миграции радионуклидов в направлении разгрузки подземных вод от ПГЗРО.

Пункт 4. Последовательность геологического изучения участков недр для целей, не связанных с добычей полезных ископаемых. 4.1. Для достижения наибольшей эффективности в изучении участков недр для целей, не связанных с добычей полезных ископаемых (вне зависимости от вида), необходимо соблюдать этапность в проведении геологоразведочных работ. 4.2. Независимо от стадии геологоразведочные работы проводятся только при наличии соответствующей лицензии и по проекту, согласованному в установленном порядке. 4.4. Для обоснования вовлечения в освоение участков недр (вне зависимости от вида), в соответствии с действующими нормативными документами,

устанавливаются следующие предпроектные стадии геологоразведочных работ: поисковая, оценочная и разведочная. На действующих объектах реализуется стадия эксплуатационной разведки. Именно на разведочной стадии (п.4.5) выполняют геолого-гидрогеологическое, инженерно-геологическое и экологическое обоснование проекта и технологии эксплуатации намечаемого объекта, включая обоснование размеров горного отвода и санитарно-защитных зон.

Комментарий к п.4.

Предпроектная (до разработки проекта ПГЗРО) разведочная стадия в установленном порядке для вида пользования недрами лицензии Роснедр КРР 16117 ЗД не выполнена. Нет разведки – не должно быть и горного отвода по нормам. Однако проект разработан, горный отвод установлен, горные работы начаты.

Пункт 4.10.5. В отдельных случаях на основании работ поисково-оценочной стадии по решению государственной экспертизы может быть дано разрешение на проведение опытно-промышленной эксплуатации объекта с организацией детального мониторинга на срок до трех-пяти лет. По ее результатам на основании последующей государственной экспертизы дается разрешение на дальнейшую промышленную эксплуатацию.

Комментарий к п. 4.10.5.

Лицензия Роснедр КРР 16117 ЗД по виду пользования недр и сроку действия, без указания/ограничения объема принимаемых на захоронение РАО, без указания опытно-промышленного статуса деятельности не подпадает под действие данного пункта. Пункт 4.10.5. не может служить основанием для невыполнения геологоразведки участка «Енисейский».

Примеры информации о необходимости и отсутствии геологоразведки при обосновании безопасности участка «Енисейский»

1. Протокол ГКЗ № 4523-пс от 03-02-2016.

2. А.В. Минин, В.В. Кокшко. Техническое задание на оказание услуг (приложение к договору). Москва, 2022. С. 19-24 договора (<https://zakupki.rosatom.ru /2205090482078>). Предмет закупки: «Оказание услуг по внесению изменений в лицензию на пользование недрами с целью увеличения площади изучаемого участка для обеспечения мониторинга подземных вод в направлениях р. Енисей и р. Шумиха, с корректировкой проекта геологоразведочных работ». ФГУП «НО РАО».

3. О.А. Морозов, А.В. Расторгуев и Г.Д. Неуважаев [5], участники Енисейского проекта, ИБРАЭ РАН – научный руководитель:

«На участке Енисейский выполнены геологоразведочные работы (ГРР) поисковой и оценочной стадий»;

«Распорядитель недр предложил недропользователю перейти к разведочной стадии геологоразведочных работ. Однако, после завершения оценочной стадии, других геологоразведочных работ на площади участка «Енисейский» не проводилось»;

«Дальнейшее изучение особенностей геологического строения участка в целях безопасного размещения необходимо осуществлять на основе проведения геологоразведочных работ разведочной стадии, направленных на комплексное изучение не только ближней, но и дальней зоны будущего хранилища»;

«В связи с этим весьма актуальными представляются рекомендации ГКЗ «Роснедра», выданные еще в 2012 г., подтвержденные позднее протоколом ФБУ «ГКЗ» от 03.02.2016, а также замечания экспертизы ФБУ «НТЦ ЯРБ» от 2016 г., направленные на дальнейшее изучение геологического строения участка. Основные рекомендации экспертов сводятся к следующему: на площади всего участка «Енисейский» выполнить разведочные работы...»;

«Планирование и проведение разведочных работ являются крайне необходимыми»;

«Горнопроходческие работы при сооружении ПИЛ не могут заменить разведку участка недр, поскольку имеют другую цель (строительство), осуществляются на ограниченной и очень небольшой (1,7 км²) площади, не проводятся по разведочной сети обоснованной ориентировки и плотности, не в состоянии обеспечить комплексное (геологическое, геофизическое, гидрогеологическое и др.) изучение участка»;

«Разведочная стадия ГРП относится к числу предпроектных, предшествующих строительству и эксплуатации подземных сооружений».

4. Н.П. Лаверов (бывший председатель Комиссии при Правительстве Российской Федерации по геологическому обеспечению безопасного захоронения радиоактивных отходов), В.И. Величкин, ИГЕМ РАН:

«Учитывая ограниченность исходных данных о геологии и тектоническом состоянии участка «Енисейский», представляется преждевременным принимать решение о его пригодности для подземного захоронения твердых и отвержденных радиоактивных отходов», [6].

5. К. В. Мартынов, Е. В. Захарова, С. А. Кулюхин [7], участники Енисейского проекта, ИФХЭ РАН:

«Нет данных, позволяющих оценить эффективность геологического барьера – данных о защитных свойствах горного массива и их учета в определении миграции радионуклидов».

6. А.Ю. Озерский, Е.Г. Полякова. Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека: материалы VI Международной

конференции. Том 1, Томск. 2021. С. 443-447, участники Енисейского проекта, АО «Красноярскгеология», основные исполнители геологических работ. Констатация фактов авторами (привожу по моей статье «К изучению площадки пункта глубинного захоронения РАО: оценки 2021 года» на сайте PРоAtom):

Стр. 443-444. Участок «Енисейский» не принадлежит к геологической структуре Нижнеканского гранитоидного массива, но определение «участок Енисейский Нижне-Канского массива» продолжает использоваться в Росатоме по привычке;

В 2003-2007 годах (лицензия на геологическое изучение от 2006 г.) на участке «Енисейский» была пробурена всего одна скважина 1-Е, достигшая глубины целевого интервала;

Стр. 444. Граница первоначальной лицензионной площади участка «Енисейский» (12), площадь поисково-оценочных работ 2009-2011 годов и инженерных изысканий 2013-2014 годов (13), лицензионная площадь ПГЗРО (14);

Стр.445. Обширный перечень существенных недостатков геологических работ 2003-2007 годов и их экспертизы (В.К. – период назначения участка «Енисейский» приоритетным!);

Стр. 445. Систематическое изучение лишь части участка «Енисейский» площадью около 6 кв. км было начато в 2009 г. С 2014 г. по настоящее время геологоразведочных работ на участке не проводилось;

Стр. 445-446. Целенаправленно в течение примерно 5-6 лет бурением изучали даже не участок (лицензионная площадь около 64 кв. км) и, тем более, не сопряженные с ним породы, а лишь непосредственно площадку будущего строительства. При этом собственно геологическое изучение (формально поиск и оценка): 2009-2011 годы. Инженерные изыскания (это уже отдельная стадия проектных работ): 2013-2014 годы;

Стр. 446. Вопреки настойчивым рекомендациям ГКЗ, стадия геологической разведки участка «Енисейский» не была выполнена, направления возможной миграции подземных вод остались неисследованными;

Стр. 446-447. В 2016 году ФГУП «НО РАО» получило лицензию на захоронение РАО на участке «Енисейский» (площадка 1,75 кв. км), при этом отказавшись от лицензии на геологическое изучение;

Стр. 447. В 2020 году ИБРАЭ заключил договор с АО «Красноярскгеология» на составление проекта геологоразведочных работ (наземные работы + подземная исследовательская лаборатория, ПИЛ) на лицензионной площадке 1,75 кв. км. По факту – это уже эксплуатационная разведка, не предусмотренная этапами геологического изучения

территории до проектирования и строительства объектов. Стадия разведки при геологическом изучении всего участка «Енисейский» и путей питания/разгрузки его подземных вод по-прежнему проигнорирована. В такой ситуации положительное решение ГКЗ вряд ли будет получено. Кроме того, недропользователь не выполняет условия (мониторинг геологической среды) действующей лицензии по использованию лицензионной площади, хотя строительные работы уже начались.

7. В.С. Гупало, В.Г. Тесля, А.В. Расторгуев [8]. Участники Енисейского проекта, ИБРАЭ РАН.

В силу того, что на поисковой и оценочной стадиях гидрогеология сложного массива изучена слабо для надежного прогноза защитных свойств массива вне целевого горизонта захоронения РАО, предлагают будущую «разведочную» стадию синхронизировать (что не соответствует статусу геологоразведки) с горнопроходческими работами и применять для исследований уникальное оборудование в специализированных скважинах.

8. Закупка на разработку проекта границ горного отвода в районе возможного размещения ПГЗРО (подземных сооружений, не связанных с добычей полезных ископаемых, Красноярский край, Нижне-Канский массив). ФГУП «НО РАО». 2018. <https://zakupki.gov.ru/epz/order/notice/ea44/view/commoninfo.html?regNumber=0573100027018000059>.

Геологоразведка, знания защитных свойств массива по определению задают размеры горного отвода. Без них площадь защитного горного отвода конкурсными документами уже предполагается/задается (еще до начала работ, в разделе «Исходные данные» ТЗ!) в 100-130 кв. км. Для сравнения: горный отвод давно работающего могильника жидких РАО «Северный» составлял в 2013 г. 45 кв. км и требовал пересмотра в сторону увеличения, площадь ПГЗРО - примерно 1,75 кв. км (привожу по моей статье «Федеральный пункт подземного захоронения РАО в недрах территории ГХК» на сайте PРоAtom).

9. Как бы незнание Закона «О недрах», желание выполнять разведочную стадию ГРР должным образом, склонность к «неточностям» и странным обоснованиям недопустимы. Рассмотрим, например, статью Б.Т. Кочкина [4] (участник Енисейского проекта, ИБРАЭ РАН, ИГЕМ РАН).

Автор этой статьи при планировании задач изучения геологической среды участка «Енисейский» на Закон «О недрах» не опирается. В тексте и в списке литературы трудно найти ссылки на Закон «О недрах». Автор вопреки протоколу ГКЗ от 2016 г. настойчиво употребляет термин «пригодный» вместо «потенциально пригодный» применительно к массиву гнейсов участка «Ени-

сейский» со сложными геологическими условиями. Он признает, что разведка не выполнена и рекомендована в качестве следующей стадии, а геологическая карта участка составлена, в основном, по геофизическим данным (с. 78), основная геологическая информация, полученная в ходе работ поисковой и оценочной стадий, по-прежнему находится в «серой зоне» отчетов ограниченного доступа (с. 79). Но конструирует некое «окно возможностей» для выхода из неприятной ситуации. И утверждает: «Из-за отсутствующих соответствующих нормативных документов Минприроды России, которые появились в 2007 г. [ссылка на Методические рекомендации 2007 г.], изучение недр участка Енисейский с соблюдением современных регламентов началось только в 2009 году...». Утверждение про отсутствие документов не соответствует действительности, так как Закон «О недрах» и Методические указания по лицензированию вполне регламентировали соответствующую деятельность по геологическому изучению участка как минимум 10-15 лет до этого.

«Исходя из нормативных документов Минприроды России, строительство ПИЛ и проведение в ней экспериментов можно рассматривать как следующую (разведочную) стадию геологоразведочных работ. Формулировки этих документов [Положение о порядке проведения геологоразведочных работ (ГРР) по этапам и стадиям (твердые полезные ископаемые): утв. Распоряжением Минприроды России № 83-р от 5 июля 1999 г. (п. 4.1.3), Методические рекомендации... (п. 4.4)] предоставляют широкие возможности для достижения целей обоснования безопасности захоронения РАО на участке Енисейский... оптимальными для сложных геологических условий и разнообразными методами геологоразведочных работ, включая горнопроходческие» (с. 79).

Обоснованные автором «широкие возможности» для замены предпроектной разведочной стадии частично инженерно-геологическими изысканиями для проектирования шахтного объекта как продолжением оценочной стадии работ (с. 78) и деятельностью ПИЛ вряд ли можно рассматривать и одобрить как разведочную стадию, что обсуждалось неоднократно ранее и следует из материалов настоящей статьи. Кроме того, приведенная ссылка на совокупность документов для разных видов недропользования (неправомерное формирование нового единого смысла) неуместна и не может служить основанием для невыполнения геологоразведки участка «Енисейский», для изменения смысла понятий, последовательности и стадийности геологического изучения недр участка в формате Методических рекомендаций... (п. 4).

Формулировка п. 4.4 (как и четкого п. 4 в целом) профильных Методических рекомендаций нами приведена. Она понятна, достаточна и никаких скрытых смыслов в ней нет. Положение о порядке проведения ГРП – регламентирующий документ (определяет последовательность и полноту геологического изучения недр с целью обеспечения рационального использования, воспроизводства и охраны минерально-сырьевых ресурсов) другой сферы (освоения минерально-сырьевой базы). Его п. 4.1.3 («4.1.3. Разведка месторождений на глубину проводится скважинами до горизонтов, разработка которых экономически целесообразна. Месторождения сложного строения разведываются скважинами в сочетании с подземными горными выработками. В случае отработки месторождения подземным способом расположение разведочных горных выработок должно обеспечивать максимально возможное их использование при эксплуатации»), при повторах терминов «месторождения» и «разведка», конкретизирует п. 3) ст. 6 Закона «О недрах» в части разведки и добычи полезных ископаемых, но никак не относящийся к проблеме ПГЗРО п. 2) ст. 6 в части геологического изучения и оценки пригодности участков недр для строительства и эксплуатации подземных сооружений, не связанных с добычей полезных ископаемых.

10. Сопоставим две лицензии ФГУП «НО РАО». Лицензия Роснедр КРР 16117 ЗД: Захоронение радиоактивных отходов разрешено. Лицензия Ростехнадзора ГН-01,02-304-3318: Условия действия лицензии, п. 1.4. Лицензия не дает право на осуществление деятельности по обращению с радиоактивными отходами при их хранении, переработке, транспортировании и захоронении, в том числе размещению радиоактивных отходов на пункте хранения радиоактивных отходов в составе подземной исследовательской лаборатории.

11. Гупало Т.А. и др. Участники Енисейского проекта, ВНИПИпромтехнологии. Разработка обобщенного плана проведения научно-исследовательских и проектно-изыскательских работ по созданию объекта подземной изоляции РАО на Нижнеканском массиве. Итоговый отчет (за период 01.05.2002–31.01.2005) по проекту МНТЦ 2377. Москва, 2005 г. (<https://www.osti.gov/servlets/purl/877906-StrTSU/>).

На участке было предусмотрено бурение скважин глубиной не менее 1 км

12. Румынин В.Г., Никуленков А.М. Анализ опытных данных и модельных представлений о проницаемости скальных массивов на участках глубинного захоронения радиоактивных отходов. Байкал 24.06.2021. URL: https://disk.yandex.ru/d/es7_qBEAUJNWng.

Интересны некоторые представления о проекте и первичные материалы геологического изучения участка «Енисейский» в работе гидрогеологов. Представлен в плане и на разрезе гнейсовый «полуостров» промышленной территории ГХК внутри юры. Получается, что РАО планируют разместить в гнейсах, погруженных в артезианский бассейн. Сформулирована (слайды 20, 28) важная неопределенность ситуации: «Основной вопрос: Есть ли в массиве связанные системы трещин, которые бы обеспечивали быстрый транспорт радионуклидов от источника к зоне разгрузки? Не исключено, что в массиве могут присутствовать единичные протяженные зоны, которые связывают отдельные участки массива. Именно по этим зонам будет фокусироваться поток подземных вод, и именно они могут представлять опасность при оценке долговременной безопасности для пункта захоронения РАО».

Для снятия этой неопределенности необходимо, видимо, до начала горных работ в пределах первоначальной лицензионной площади (приблизительно 64 кв. км) от 2006 г. и по контакту гнейсы-юра выполнить геологоразведку с бурением скважин глубиной не менее 1 км по оптимальной сетке расположения скважин и отбором керна, их исследование геофизическими, гидрогеологическими и геохимическими методами, а также изучение межскважинного пространства трассерными экспериментами с применением трития в качестве индикатора (привожу по разделу 21, <https://proza.ru/2021/12/15/641>).

13. Озерский А.Ю., [9]. Участник Енисейского проекта, АО «Красноярскгеология», основной исполнитель геологических работ: «Можно ли говорить о том, что решение, принятое на основе несовершенных документов, обеспечит безопасность ПГЗРО в будущем? По-видимому, нет».

14. В материалах лицензии Роснедр КРР 16117 ЗД от 22.07.16 (со странным сроком действия, по результатам поисковой и оценочной стадий геологического изучения), вопреки правилам не обозначены выдавшие/согласовавшие разрешение на пользование земельным участком органы (Российский Федеральный Геологический Фонд, Сводный государственный реестр участков недр и лицензий, Информация о лицензии КРР16117ЗД, Наименование органа, выдавшего разрешение на пользование земельным участком – информация отсутствует, Наименование органа государственной власти субъекта Российской Федерации – информация отсутствует).

15. В.С. Гупало (электронное письмо участника работ от 23.03.2023 вместо официального ответа ИБРАЭ РАН – научного руководителя Енисейского проекта на запрос к администрации по правовой ситуации): «Для выполнения

требований законодательства в сфере недропользования, а также соответствия нормативам проведения геологического изучения недр на Енисейском участке и на сопредельных площадях запланирован ряд мероприятий, соответствующих по целям и содержанию разведочной стадии. На данном этапе выполняется... проектирование разведки. Сотрудники ИБРАЭ РАН неоднократно публично выступали с этой информацией, в том числе на НТС Госкорпорации «Росатом» и в ходе проведения общественных обсуждений МОЛ в октябре 2022 года. Подчеркну, что стадия разведки обязательна к выполнению по всем действующим нормам законодательства в отношении участков недр, не связанных с добычей полезных ископаемых, и она будет выполнена на Енисейском участке в соответствии с рекомендациями ФБУ «ГКЗ» Роснедр».

Стадия предпроектных (положенная выполнением до проектирования и строительства ПГЗРО) ГИН еще только планируется.

«В соответствии с международным опытом и согласно графику реализации фаз Стратегии, принятие решения о возможности создания ПГЗРО на Енисейском участке и соответствующее лицензирование деятельности по сооружению ПГЗРО возможно не ранее чем через 10 лет после начала эксплуатации ПИЛ».

Не единственное из настойчиво внедряемых в общественное сознание утверждение, не соответствующее действительности (см. раздел «Хронология оформления основных документов...»).

16. К сожалению, неисполнение Закона «О недрах» и подзаконных актов при работах по Енисейскому проекту является хроническим (привожу по разделу 2 «Законодательство и технические нормы» моей статьи «Образ ядерного могильника» на сайте Проза.ру).

Выводы

Геологоразведочная стадия геологического изучения недр участка «Енисейский» для размещения и строительства особой важности и опасности объекта – федерального ПГЗРО в особых условиях промышленной площадки ЗАТО с оборонными объектами **не выполнена вопреки** Закону «О недрах», Методическим рекомендациям Минприроды (подзаконный акт Закона «О недрах») по обоснованию выбора участков недр для целей, не связанных с добычей полезных ископаемых, от 2007 года и Методическим указаниям Минприроды (подзаконный акт Закона «О недрах») по лицензированию пользования недрами для целей, не связанных с добычей полезных ископаемых, от 1998 года, а также рекомендациям ГКЗ и отдельных профильных специалистов.

Лицензия Роснедр КРР 16117 ЗД на пользование недрами с отсутствующим в Законе «О недрах» видом деятельности, оформленная до необходимых и опережающих стадий геологического изучения недр, надежного установления горного отвода, строительства и обоснования/экспертизы эксплуатации ПГЗРО **должна быть, скорей всего, аннулирована.** ❶

Литература

1. Стратегия создания пункта глубинного захоронения радиоактивных отходов // Радиоактивные отходы. 2018. № 2 (3). С. 114-120.
2. Производство по выводу из эксплуатации ядерно и радиационно опасных объектов (<https://sibghk.ru/activity/reactor-plant.html>).
3. Вывод из эксплуатации открытого бассейна-хранилища ЖРО (<https://www.atomic-energy.ru/articles/2012/12/10/37658>).
4. Б.Т. Кочкин. Задачи изучения геологической среды участка Енисейский на текущем этапе реализации проекта захоронения // Радиоактивные отходы. 2019. № 2. С. 76-91.
5. О.А. Морозов, А.В. Расторгуев, Г.Д. Неужаев. Оценка состояния геологической среды участка Енисейский (Красноярский край) // Радиоактивные отходы. 2019. № 4 (9). С. 46-62.
6. Н.П. Лаверов, В.И. Величкин. Радиогеоэкологические проблемы начального и завершающего этапов ядерного топливного цикла (<https://www.atomic-energy.ru/articles/2012/11/29/37520?page=2>).
7. К. В. Мартынов, Е. В. Захарова, С. А. Кулюхин. Альтернативная концепция устройства защитных барьеров при глубинном захоронении РАО класса 1 на Енисейском участке Нижнеканского массива // Радиоактивные отходы. 2022. № 2 (19). С. 68-84.
8. В.С. Гупало и др. Радиоактивные отходы. 2020. № 4. С. 30-41; В.Г. Тесля, А.В. Расторгуев. Радиоактивные отходы. 2020. № 4. С. 58-70.
9. А.Ю. Озерский. Оценка требований к геологической среде при выборе участка недр для захоронения радиоактивных отходов в глубокие геологические формации // Радиоактивные отходы. 2021. № 2 (15). С. 90-98.

UDC: 167.6+349.7+621.039

V.N. Komlev, engineer-physicist, komleva_ap@mail.ru

RADIOACTIVE WASTE AND SUBSOIL USE: LAW AND ORDER

Abstract: The legal basis and fragments of the actual solution of the problem of disposal of the special danger of radioactive waste in Russia are considered. In the context of substantiating and issuing a license from Rosnedr KRR 16117 ZD for the disposal of radioactive waste in the bowels of the Yeniseisky site of the industrial territory of ZATO Zheleznogorsk, Krasnoyarsk region. The text of the article is limited to the scope of the consideration «Law «On the Management of Radioactive Waste» – Law «On Subsoil» – license for the use of subsoil for the disposal of radioactive waste - violations associated with documented failure to carry out the geological exploration stage of the geological study of subsoil. «When considering the adequacy of a license specifically from Rosnedra such a condition is necessary and sufficient. Hidden or obvious departure from the Law «On Subsoil» in solving the problems of radioactive waste disposal often leads to errors and attempts to disguise them.

Keywords: disposal of radioactive waste, geology, subsoil, gneisses, underground construction, safety, law, license, examination, Rosatom, site «Yeniseisky», Krasnoyarsk, Russia.



Запивалов Н.П.
д-р геол.-мин. наук
ИНГГ СО РАН
главный научный сотрудник лаборатории
электромагнитных полей
ZapivalovNP@ipgg.sbras.ru

НЕФТЬ РОССИИ В XXI ВЕКЕ

Нефть и газ – это энергия, топливо и сырьё для многочисленных потребностей населения нашей планеты. Развитие нефтегазового дела, в том числе разведка и бережная эксплуатация месторождений углеводородов является первоочередной задачей человечества.

В статье предлагается краткий обзор современного состояния нефтяных дел в России, где особое внимание уделяется категории месторождений, которые эксплуатируются много лет. По аналитическим данным сейчас более четверти (свыше 25 %) добычи нефти приходится на выработанные месторождения.

Рассматривается тема продления добычного потенциала нефтяных залежей. Автор делает акцент на результаты освоения Верх-Тарского месторождения нефти в Новосибирской области и некоторых других.

В статье предлагается новая авторская парадигма образования и динамики жизни нефтяной залежи. Отдельно рассматривается проблема рисков и неопределённостей в разведке и добыче.

Ключевые слова: нефть, выработанные месторождения, флюидопородная система, авторская парадигма, риски и неопределенности.

Нефть – углеводородная часть Земной поверхности пользуется особым вниманием и необходимостью для человечества. Но как бы человечество не стремилось к альтернативным источникам энергии, найти полноценную замену углеводородам пока не удастся. В настоящее время нефть используется в 2-5 раза больше, чем 30-40 лет назад.

Нефть и газ обеспечивают 20% внутреннего валового продукта России, они являются главными статьями нашего экспорта, давая более половины его доходов. Однако **основные их месторождения на суше уже частично выработаны, а в Республики Коми и Западной Сибири – истощены (часть в Томской области, в ХМАО, ЯНАО, а также Томской, Омской и Новосибирской областях)**. Прирост разведанных запасов нефти России в настоящее время не покрывает добываемого количества, но по утверждению аналитиков из разных интернет-изданий минимум **30-50 лет** нам будет что добывать.

Территория России богата нефтяными месторождениями, ведется активная их разработка и эксплуатация. По данным Коммерсанта.ru сейчас более четверти (свыше 25 %) добычи нефти приходится на выработанные месторождения. Объем добычи их составляет около 140 млн тонн в год. Почему так происходит? Проще и

выгоднее выработать «легкую» нефть во многих смыслах без внедрения новейших технологий.

В настоящее время с геологических позиций уменьшается добычный потенциал большинства месторождений. Согласно оценке министерства природных ресурсов и экологии РФ, текущих запасов нефти России хватит на 59 лет, а газа – на 103 года. В Роснедрах дают более консервативную оценку размера нефтяных ресурсов – 58 лет, при этом уточняя, что рентабельных запасов хватит только на 20 лет.

Кроме того, Минфин предложил отложить на три года поправки в Налоговый кодекс об изменении льгот на участки месторождений с выработанностью запасов более 80 % – это в дальнейшем существенно уменьшает финансовый результат нефтяных компаний.

На территории Российской Федерации находится несколько крупных нефтяных провинций. Одна из крупнейших – Западная Сибирь.

В Западно-Сибирская низменности находится около 60% российских сухопутных ресурсов нефти. Здесь открыто свыше 500 нефтяных, нефтегазоконденсатных и нефтегазовых месторождений, которые содержат свыше 70 % всех разведанных на данный момент запасов. Высокая нефтегазоносность этой ресурсной провинции объясняется наличием отложений. сформиро-

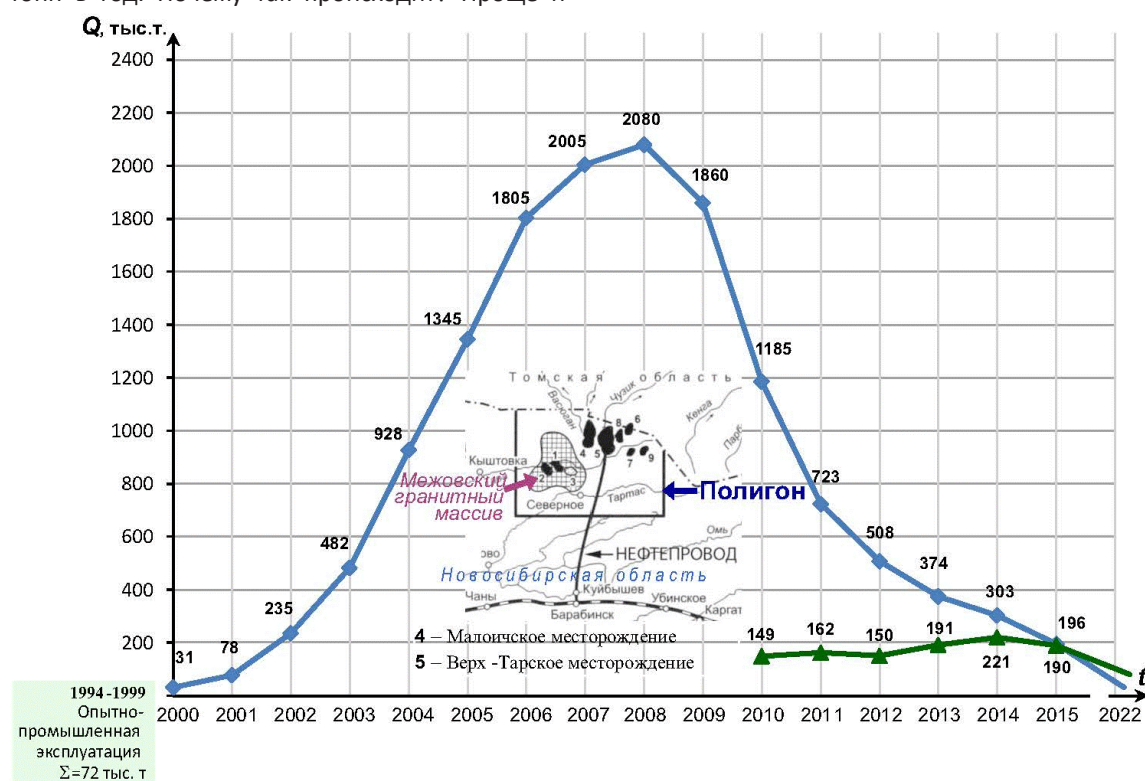


Рис. 1. Динамика добычи нефти на Верх-Тарском месторождении по годам. Месторождения: 1 – Межовское; 2 – Восточно-Межовское; 3 – Веселовское (газовое); 4 – Малоичское; 5 – Верх-Тарское; 6 – Ракитинское; 7 – Тай-Даское; 8 – Восточно-Тарское; 9 – Восточное. Зеленым на графике показана начавшаяся позднее добыча нефти на Малоичском месторождении.

вавшихся в меловом и юрском периодах. Основная часть продуктивных нефтеносных слоев залегает обычно на глубине 2-3,5 км.

Сегодня основная добыча нефти в Западной Сибири ведется на зрелых и уже истощенных месторождениях. По мнению автора, добытчики нефти занимаются не освоением месторождения и даже не разработкой, а только «выработкой активных запасов». Месторождение уничтожается насильственно-стрессовыми методами разработки. Гидроразрыву подвергаются все вновь пробуренные скважины с самого начала их эксплуатации, хотя по геолого-технологическому стандарту это рекомендуется делать через полгода режимной эксплуатации скважин в зависимости от промысловых параметров, характеризующих состояние призабойной зоны пласта.

Примером нарушения естественных природных процессов является Верх-Тарское месторождение Новосибирской области, которое было уничтожено за 20 лет ускоренной выработки активных запасов за счёт завышенных темпов добычи и неумеренного применения ГРП и заводнения (*рис. 1*). Геологоразведочные работы и бурение новых скважин на месторождениях в этом районе больше не ведутся.

Верх-Тарское месторождение было закончено разведкой в 1973, в следующем 1974 году было открыто еще одно нефтяное месторождение в северном районе Новосибирской области – Малоичское в девонских карбонатных толщах. Суточный дебит нефти на данной площади превышал 400 т. Уникальность этого месторождения в том, что нефтенасыщенные пласты присутствуют здесь только в палеозойских отложениях. Притоки нефти, существенно отличающиеся друг от друга, получены из разных горизонтов силура и девона с различных глубин (забой до 4600 м) [8]. Подробно и живописно о перипетиях освоения месторождений в Западной Сибири написал в своей книге академик и первооткрыватель этих месторождений Трофимук А.А. «Сорок лет борения за развитие нефтегазодобывающей промышленности Сибири».

Нефть Верх-Тарского месторождения по характеристикам является высококачественной, содержит мало серы и парафинов. Часто ее сравнивают с эталонной маркой Brent, в процессе переработки она дает на 25% больше светлых фракций по сравнению с обычными показателями по России.

Суммарная добыча на этом месторождении составляла более 16 млн тонн с 2000 года, когда началась промышленная добыча. В 1974 году оцененных разведкой геологических запасов считалось 52 млн тонн, а извлекаемых запасов – 24,5 млн т. такие данные утверждали в ГКЗ (Государственная комиссия по запасам). Где остальное?

За сравнительно короткий период – в 20 лет на Верх-Тарском месторождении сменилось до пяти недропользователей. Часто возникали различные финансовые и юридические проблемы и разногласия. Последний недропользователь «Нефтиса» (г. Москва) практически загубил (уничтожил) данное месторождение.

История: основные вехи

1970 год – пробурена первая разведочная скважина №1, и в ходе проведенных в ней испытаний было

1973 год – недалеко от Верх-Тарского месторождения начались работы Малоичском

1994 год – решением администрации НСО создается предприятие ОАОТ «Новосибирскнефтегаз» (позже Открытое акционерное общество «Новосибирскнефтегаз») – предприятие по добыче нефти, организованное для лицензионных условий при освоении месторождений в регионе.

1996 год – в Верх-Тарской структуре пробурено 17 поисковых и разведочных скважин, по двум скважинам осуществлялась пробная эксплуатация.

2000 год – начало промышленной **добычи нефти** на Верх-Тарском месторождении. Пробурена первая эксплуатационная скважина №111.

2001 год – закончено строительство нефтепровода Верх-Тарское-Барабинск длиной 180 км.

2003 год – к магистральному нефтепроводу подключён коммерческий узел нефти (КУУН). Таким образом, завершилось формирование базовой инфраструктуры, включающей все этапы нефтедобывающего производства.

2004 год – с начала разработки Верх-Тарского месторождения добыт первый миллион Верх-Тарской нефти! Такой подарок нефтяники сделали к 10-летию своего предприятия!

2007 год – предприятие начало работать над объектами Малоичского и Восточно-Тарского месторождений. Они входят в состав одноимённых лицензионных участков, которые находятся в активе ОАО «Севернонефтегаз».

2008 год – на этот период приходится **пик добычи**. Начата пробная эксплуатация Ракитского месторождения. За год на нём было добыто 439 тонн нефти. Открытое акционерное общество «Новосибирскнефтегаз» ввело в эксплуатацию железнодорожный нефтеналивной терминал в г. Барабинск Новосибирской области.

2011 год – начался 3-й этап освоения Верх-Тарского месторождения – с выходом на «полку». Пробурена одна эксплуатационная скважина на Восточно-Тарском месторождении.

2013 год – добыта 15-миллионная тонна нефти. Ведутся подготовительные работы к бурению новых скважин на Малоичском месторождении.

2014 год – предприятие приступило к бурению на Верх-Тарском месторождении. Открытое акционерное общество «Новосибирскнефтегаз» отметило 20-летний юбилей. Главная задача компании с 2015 г. – стабилизировать добычу нефти, как можно дольше удерживая ее на «полке». В целом извлекаемые запасы «чёрного золота» на месторождениях Общества оцениваются в 40 млн тонн. (источник <https://sevbibl.ru/>)

В 2015 г. добыча снизилась по сравнению с 2014 г. на 26%.

В дальнейшем **снижение добычи** продолжалось: по информации от компании «Новосибирскнефтегаз», объем добычи нефти за 2019 г. составил 114,4 тыс. тонн, в 2020 г. – 86,0 тыс. тонн (из них: Верх-Тарское – 63,1; Малоичское – 12,0; Восточно-Тарское – 10,9); в 2021 году планировалось добыть всего лишь 64,1 тыс. тонн (из них: Верх-Тарское – 45,5 тыс. тонн; Малоичское – 8,8; Восточно-Тарское – 9,8). К концу 2022 года на скважине Верх-Тарского месторождения были приостановлены работы.

По состоянию на 01.01.2022 запасы нефти Верх-Тарского нефтяное месторождение по категориям А+В1+В2 составляют 42,515/11,919 млн тонн (геологические/извлекаемые) (данные с сайта povng.ru).

Еще раз хочу подчеркнуть, что с нефтегазовыми месторождениями надо обращаться на основе медицинского подхода – **беречь и лечить**, чтобы не превращать запасы в быстротечный «добычный потенциал», как это произошло за

последнее время с Верх-Тарским месторождением и многими другими. Эту точку зрения разделял и академик А.А. Трофимук, что месторождениям с «детства» нужно внимание и забота...

Еще одним примером интенсивной эксплуатации считается **Самотлорское нефтяное месторождение**, расположенное в Нижневартовском районе Ханты-Мансийского автономного округа (ХМАО) в Западной Сибири. Предполагаемые геологические запасы нефти составляют 7,1 млрд тонн. Промышленная добыча здесь ведется с 1969 года. По началу она стремительно росла и в 1980 году вышла на свой пик – 158,8 млн т, затем пошло снижение. В 2013 г. были приложены колоссальные усилия недропользователя по восстановлению и поддержанию этого гигантского месторождения, внедрены новые технологии. Но тем не менее, в настоящее время Самотлор исчерпан более чем на 70 %. Такая же участь ждет и другие месторождения.

Продуманные научно-профессиональные подходы и технологии позволяют разрабатывать месторождения в течении нескольких десятилетий и с более устойчивым уровнем добычи – так называемой «полкой». Удержать «полку» на длительное время – главная задача разработчиков любого месторождения. Примером **заботливого** отношения к месторождению является – **Ромашкинское**.

Это крупнейшее в Волго-Уральской провинции нефтяное месторождение, в Республике Татарстан. Предполагаемые геологические запасы оценива-

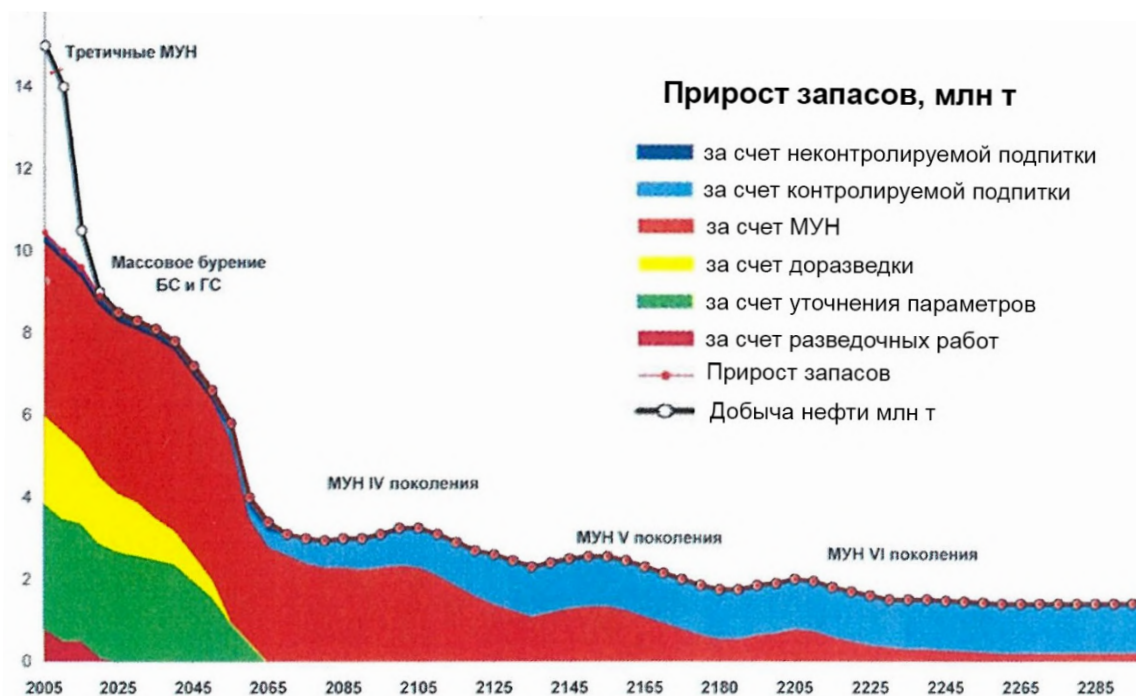


Рис. 2.

Динамика добычи и воспроизводства запасов нефти по Ромашкинскому месторождению за счет подпитки с 2005 г.

ются в 5 млрд тонн, доказанные и извлекаемые запасы – в 3 млрд т. Промышленное освоение ведется с конца 40-х годов XX века. Специалисты отмечают пульсирующее состояние скважин, которые периодически снова заполняются.

На современном этапе планируется доразведка недр, внедрение новейших технологий – все это способствует продлению добычи еще на несколько десятилетий (*рис. 2*). Согласно последним исследованиям ученых (академик Татарстана Р. Х. Муслимов и др.) нефть в месторождении постоянно подпитывается из глубин, а потому срок добычи удлинится [3, 7, 8]. Рассчитывают уверенно добывать здесь нефть ещё 30 лет.

К большому сожалению, в настоящее время в мире повсеместно осуществляется форсированная коммерческая добыча легко извлекаемой нефти всевозможными доступными интенсивными методами.

В 2015 г. издатели сборника «Enhanced Oil Recovery: Methods, Economic Benefits and Impacts on the Environment» (Nova Publishers, Inc., New-York) обратились ко мне с приглашением принять участие, и автор рискнул выступить со своей позицией (Improved Oil Recovery), противопоставив ее общей концепции сборника. В результате опубликованная работа вот уже несколько лет вызывает активный интерес ученых всего мира. Это статья набирает до сих пор много прочтений (свыше 10 700) в рейтинговом онлайн научном сообществе ResearchGate [10]. В этой работе изложены современные методы щадящей разработки месторождений, включая такие технологии, как разработанный группой американских исследователей под руководством Ричарда Шмидта метод скважинной технологии горения с использованием твердого пропеллента Gasgun®, представляющий собой более эффективную и щадящую версию традиционного метода гидроразрыва, и разработанные в ИХН СО РАН Л.К. Алтуниной, В.А. Кувшиновым и др. физико-химические и комплексные технологии для залежей высоковязких нефтей.

Риски 21 века. Авторская парадигма

Как известно, поиски и разведка в современном нефтегазовом деле требуют больших капиталовложений, являются самым сложным и решающим этапом, и имеют значительный процент риска и неопределенности. Сейчас огромное значение приобрел геополитический фактор и рыночные отношения.

Предлагается следующая символическая формула для описания этого – сумма факторов:

$$\Sigma\Phi = Н + Ч + Г1 + Г2 + Т1 + Т2 + Э + К + П + Р,$$

где Н – фундаментальная наука; Ч – человеческий фактор: профессионализм кадров всех уровней, включая менеджмент; Г1, Г2 – геологическая, геофизическая информация в полном

объеме; Т1, Т2 – техника и технология с учетом инновационных методик; Э, К – экологические факторы, природные катастрофы; П – политические факторы; Р – **рыночный фактор**. В зависимости от обстоятельств, некоторые из этих факторов могут оказаться определяющими в наше быстро изменчивое время.

XXI век предъявляет необходимость разработки и внедрения принципиально новых подходов в нефтегазовой науке и практике. Более 70 лет практической и научной работы в нефтяной геологии привели автора к созданию своей парадигмы, которую он пропагандирует уже много лет. Вот основные положения:

- **Залежь нефти – это «живая» флюидопородная система, свойства и параметры которой способны быстро изменяться в непрерывном режиме под действием природных и техногенных факторов в соответствии с законами спонтанной саморегуляции.**

Залежь нефти может сформироваться, трансформироваться и вновь образоваться. Запасы нефти и газа могут быстро восполняться либо за счет вновь образующихся углеводородных масс внутри системы, либо за счет дополнительного притока из других частей земной коры. Поэтому, как подтверждают данные в разных регионах мира, многие нефтегазовые скопления являются молодыми. И многие месторождения имеют очаговый фрактальный характер нефтенасыщения и вследствие этого резко отличающуюся мозаичную структуру продуктивности (дебитности) скважин [1,4].

- Нефтегазонасыщенный пласт (объект) представляет собой **целостную систему двух взаимосвязанных подсистем**: породы (минералы) и флюиды (нефть, газ, вода). Флюидопородные системы весьма мобильны и реакционноспособны. В течение жизни и особенно в процессе разработки месторождений неоднократно и существенно меняются состав и свойства всех компонентов системы, флюидных и минеральных (метасоматоз); наблюдаются значительные изменения составов высокомолекулярных комплексов нефтей. Это четко показано на примере западносибирских месторождений, особенно Мамонтовского месторождения, пласт Б1, где с 1970 г. по 1993 г. наблюдались значительные изменения в содержании силикагелевых смол, асфальтенов и парафинов.

- Флюидодинамические системы весьма мобильны и реакционноспособны. В зависимости от провоцирующих внешних воздействий они или относительно стабильны (равновесное состояние), или возмущены (неравновесное состояние). Возмущенная система обладает всеми признаками неупорядоченности (хаоса) [1].

- Активные техногенные воздействия являются, по существу, сильным возмущением квазиравновесной системы и существенно искажают ее природные параметры. Если возмущение щадящее, то самоорганизующаяся система выравнивает это неравновесие. Длительное или интенсивное возмущение, значительно превышающее пороговое, уничтожает систему. Как следствие, падает пластовое давление, резко уменьшается дебит, обводняется пласт и изменяется его минералогический состав.

- Установлено, что критический порог возмущения флюидонасыщенной системы определяется величиной депрессии на пласт:

$$P_{пл-Рзab} \leq 5 \div 8 \text{ МПа}$$

- Формула энергетического состояния залежи: $dT/dP = 1/Sv$

Sv – плотность энтропии (энтальпии).

- Для восстановления энергетического потенциала системы следует использовать **реабилитационные циклы** [5].

- Сверхинтенсивная (насильственная) длительная выработка легкодоступных запасов нефти (Enhanced Oil Recovery) приводит к быстрому истощению и разрушению месторождений.

Многие из этих концепций отражены в многочисленных публикациях автора в России и за рубежом [1,2,4,9,10]. Полагаю, что авторская парадигма является по существу новым направлением в нефтегазовой науке и практике.

Making the next giant leap in Petroleum Geosciences!

Выводы и предложения на ближайшую перспективу XXI века

Уже сегодня следует сосредоточиться на рациональной разработке действующих месторождений с целью щадящей выработки остаточной (трудноизвлекаемой) нефти (Improved Oil Recovery), а также на обнаружении новых, в том числе вторичных, углеводородных скоплений по всему стратиграфическому разрезу (включая глубинные горизонты до 8-10 км и различные породно-флюидные ассоциации) в районах с развитой многоплановой инфраструктурой.

- Необходимо сосредоточить усилия для добычи остаточной (трудноизвлекаемой) нефти на разрабатываемых или законсервированных месторождениях, в том числе в Западной Сибири, включая вновь образованные объемы углеводородных масс. Количество такой нефти сейчас может достигать более 45 % от ранее разведанных запасов. Для ее извлечения предлагается принципиально новый подход – щадящие методы, ориентированные на сохранение месторождения как целостной системы с целью более длительной его разработки (IOR, Improved Oil Recovery) в противоположность сверхинтен-

сивной коммерческой добычи насильственным методом, разрушающим месторождение как систему (EOR, Enhanced Oil Recovery).

- Предлагается на всех законсервированных скважинах, особенно на месторождениях Западной Сибири, в продуктивные и перспективные пласты спускать мониторинговые датчики с соответствующими программами. Часто для моделирования используется информация о флюидах и породах, имеющихся в скважинах. Однако эти образцы по своим свойствам уже не вполне точно соответствуют их параметрам на глубине.

Автором на протяжении многих лет, настойчиво предлагается проект по созданию на севере Новосибирской области научно-исследовательского и образовательного **нефтяного полигона** федерального уровня на базе Верх-Тарского и Малоичского месторождений для изучения и тщательного наблюдения за жизнью нефтяной залежи.

- Необходимо применять реабилитационные циклы для восстановления энергетического потенциала системы [5-7]. Должны быть предусмотрены методы и технологии активной реабилитации (как в медицине), чтобы достичь эффективного и быстрого результата. Особое внимание следует уделить проблеме восполняемости запасов углеводородов на разрабатываемых и законсервированных месторождениях. Углеводородные ресурсы требуются беречь и пополнять, так как они необходимы человечеству на далекую перспективу.

- Необходимо воссоздать Министерство геологии РФ в полном профессиональном формате. Современная рыночно-лицензионная система недропользования в России некорректна, требуются другие формы её организации.

Для решения всех этих и многих других проблем нужен весь могущественный потенциал российской науки, в том числе фундаментальной. С горечью хочу отметить, что не наблюдается объемного взаимодействия между наукой и нефтебизнесом. Считаю недропользование должно быть научным.

«Без свечка науки и с нефтью будут потемки!» Д.И. Менделеев

В науках о Земле многочисленные геологические и геофизические исследовательские направления развиваются относительно успешно, но нет объединенной научно-практической программы, главной целью которой было бы изучение и понимание динамики развития нефтегазовых систем. На сегодняшний день имеются противоречивые идеи и концепции в нефтегазовой геологии и нефтедобывающей отрасли, поэтому, назрела потребность в новом мышлении. ❶

Литература

1. Запивалов Н. П. Динамика жизни нефтяного месторождения // Изв. ТПУ. 2012. Т. 321, № 1. С. 206–211.
2. Запивалов Н. П. Новые научные и практические аспекты нефтегазовой геологии. – Palmarium Academic Publishing, 2013. 102 с.
3. Запивалов Н.П. Сколько жить нефтяному месторождению // Георесурсы. № 1(43). 2012. С. 2-5.
4. Запивалов Н. П., Попов И. П. Флюидодинамические модели залежей нефти и газа. – Новосибирск: Акад. изд-во «Гео», 2003. 198 с.
5. Запивалов Н.П. Реабилитационные циклы - основа эффективного нефтяного недропользования // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2015. XI Междунар. науч. конгр. (г. Новосибирск, 13-25 апреля 2015 г.): Междунар. науч. конф. "Недропользование. Горное дело. Направления и технологии поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых. Геоэкология": Сб. материалов в 3 т. – СГУГиТ – Новосибирск – 2015. Т. 1 – С. 43-47.
6. Муслимов Р.Х., Плотникова И.Н. Возобновляются ли запасы нефти? // ЭКО, 2012, № 1, с. 29-34.
7. Аширов К.Б. Боргест Т.М., Карев А.Л. Обоснование причин многократной восполнимости запасов нефти и газа на разрабатываемых месторождениях Самарской области // Известия Самарского НЦ РАН. 2000. Т. 2. № 1. С. 166-173.
8. Запивалов Н.П. Золотая подложка Сибири // Недра и ТЭК Сибири: информационно-аналитический отраслевой журнал. – 2019. – № 2, с. 18-19
9. Zapivalov N. P. Upstream & Midstream risks and uncertainties. New ways of thinking // DEW: Drilling and Exploration World. – 2019. – Vol. 28 (January), Issue 3. – P. 37-46.
10. Zapivalov N. P. Improved Oil Recovery vs. Enhanced Oil Recovery // Enhanced Oil Recovery: Methods, Economic Benefits and Impacts on the Environment. – New-York. 2015. P. 81-94.

UDC: 553.982.2

N.P. Zapivalov, Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, ZapivalovNP@ipgg.sbras.ru

RUSSIAN OIL IN THE 21ST CENTURY

Abstract: Oil and gas stand for energy, fuel and raw materials for numerous needs of the growing world population. The priority tasks of the oil and gas business development aim to provide for prudent and appropriate exploration and exploitation of hydrocarbon resources for the benefit of mankind. The article offers a brief overview of the current state of the oil business in Russia, where special attention is paid to the category of mature fields that have been in operation for many years. According to analytical data, now over 25% of oil production accounts for mature fields. The possibilities of maximizing production potential of oilfields are considered. The paper focuses on results of the development of the Verkh-Tarskoye oil field, Novosibirsk region, and some others. The author proposes a new paradigm for the formation and dynamics of the oilfield life. The problem of risks and uncertainties in oil exploration and production is considered separately.

Keywords: oil, depleted oilfield, fluid-rock system, the author's paradigm, risks and uncertainties.

Данная статья является последней публикацией нашего постоянного автора Николая Петровича Запивалова, так как накануне сдачи номера в печать в редакцию пришло печальное известие: 9 сентября 2023-го года ушёл из жизни Н.П. Запивалов – главный научный сотрудник лаборатории электромагнитных полей ИНГГ СО РАН, доктор геолого-минералогических наук, широко известный в России и за рубежом геолог-нефтяник с 70-летним стажем производственной и научной деятельности.

Николай Петрович был автором и соавтором более 900 научных работ по различным геологическим направлениям. В течение многих десятилетий он развивал новые научные концепции в качестве основы инновационных технологий в разведке и освоении нефтегазовых ресурсов.

Особенно значительны его заслуги в открытии и разведке месторождений на первом этапе освоения Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции. Под непосредственным руководством и при личном участии Николая Петровича открыты и разведаны Верх-Тарское, Малоличское, Восточное месторождения в Новосибирской области; Тевризское, Прирахтовское, Тайтымское, Ягыл-Яхское в Омской области.

Н.П. Запивалов был одним из пионеров изучения геохимических предпосылок нефтегазоносности юго-востока (Томская, Омская, Новосибирская области) Западной Сибири.

Среди работ Николая Петровича большое значение имеют его многолетние работы по научному обоснованию и практические результаты по нефтегазоносности палеозоя Западной Сибири.

Важной страницей в биографии Н.П. Запивалова стала работа в Индии (1964-1968). При его участии были проведены успешные сейсморазведочные работы на шельфе Бомбейского свода, что послужило толчком для развития крупного нефтедобывающего района.

Н.П. Запивалов входил в редколлегии нескольких российских и зарубежных научных журналов, в течение многих лет был главным консультантом Индийского университета нефти и энергетики.

Более 30 лет Николай Петрович отдал подготовке молодых кадров, занимаясь успешной преподавательской деятельностью в Новосибирском государственном университете и Томском политехническом университете.

Заслуги Н.П. Запивалова были по достоинству оценены государством и профессиональным сообществом. В числе его наград – Орден Дружбы, орден «За вклад в развитие горно-геологической службы России», государственная медаль «За освоение недр и развитие нефтегазового комплекса Западной Сибири», диплом «Первооткрыватель месторождения» за открытие Верх-Тарского месторождения нефти в Новосибирской области. Он был удостоен звания Почётный разведчик недр СССР, Заслуженный геолог РФ, Почётный гражданин Северного района Новосибирской области.

До последних дней жизни Н.П. Запивалов продолжал активно работать, был полон идей и планов.

*Коллектив АООН «НАЭН» и редакция журнала «Недропользование XXI век»
выражают соболезнование родным и близким Запивалова Н.П.*





ООО «Майнинг Технолоджи»

Новый формат изучения, проектирования, строительства и освоения месторождений полезных ископаемых

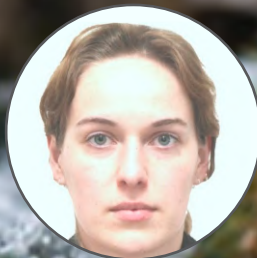
- ✓ Горно-геологический аудит
- ✓ Техничко-технологическая диагностика
- ✓ Моделирование и проектирование
- ✓ Сопровождение проектов освоения месторождения
- ✓ Стратегическое планирование бизнеса
- ✓ Инвестиционный анализ
- ✓ Техничко-экономическое обоснование
- ✓ Экологическая оценка рисков

@ post@miningtech.pro

  +7-926-950-0092



Акзигитов Н.И.
ЗАО «Ижевский нефтяной научный центр»
начальник отдела гидрогеологии
niakzigitov@udn.rosneft.ru



Мастеркова В.Ю.
ЗАО «Ижевский нефтяной научный центр»
ведущий инженер
vymasterkova@udn.rosneft.ru



Бородин Е.Г.
ПАО «НК «Роснефть»
начальник управления
проектирования и инженерно-
технологического сопровождения
разработки месторождений



Басыров М.А.
ПАО «НК «Роснефть»
заместитель директора
департамента разработки
месторождений



Колосова Е.Г.
ПАО «НК «Роснефть»
главный специалист управления
проектирования и инженерно-
технологического сопровождения
разработки месторождений

К ВОПРОСУ О КРИТЕРИЯХ ОБНОВЛЕНИЯ ПРОЕКТНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ ПРИ ДОБЫЧЕ ПОДЗЕМНЫХ ВОД ДЛЯ ППД

В данной работе рассмотрены особенности нормативной базы, применяемой при добыче технических подземных вод для поддержания пластового давления на нефтяных месторождениях. Кратко обозначена проблематика, возникающая при изменениях проектной схемы водозабора или незначительного изменения потребности в воде. Даны предложения по изменению подходов в выполнении проектных и отчетных работ при добыче подземных вод для нужд системы поддержания пластового давления.

Ключевые слова: поддержание пластового давления, проект геологического изучения, запасы, схема водозабора, правила разработки месторождений подземных вод, технический проект разработки месторождений подземных вод, нефтяные месторождения.

На нефтяных месторождениях, эксплуатируемых с применением системы поддержания пластового давления (ППД) возникает необходимость в добыче подземных вод для обеспечения системы ППД. В соответствии с текущим законодательством, добыча воды свыше 100 м³/сут должна осуществляться на основании согласованного и утвержденного в установленном порядке проектного документа. Составлению и согласованию технического проекта на добычу подземных вод предшествует подготовка проекта геологического изучения недр с согласованием в ФГКУ «Росгеолэкспертиза», а также составление отчёта с подсчетом запасов с последующим утверждением результатов в ФБУ «ГКЗ». Данный цикл работ выполняется последовательно, и срок его реализации занимает более одного календарного года. При этом процесс добычи подземных вод для обеспечения системы ППД является вспомогательным к процессу добычи нефти и проектные решения по добыче воды определяются результатами реализации проектных решений по добыче нефти.

Соответственно, процесс добычи воды для обеспечения системы ППД, имеет ряд особенностей, которые затрудняют процесс согласования разрешительной документации, а именно:

- недостижимость проектной перспективной величины потребности в добыче подземных вод в связи с отсутствием возможности сброса;
- использование системы внутрискважинной перекачки, при которой добывающая скважина на воду одновременно является нагнетательной в системе ППД, и замер точного дебита и уровня воды затруднён;
- влияние от режима работы нефтескважин и нагнетательных скважин.

Всё вышеперечисленное приводит к затруднениям при оценке запасов и проблемам при прохождении экспертизы ГКЗ.

Проектные объёмы добычи подземных вод существенно зависят от стратегии разработки нефтяного месторождения, которая может оперативно изменяться в связи с изменениями геолого-технических и экономических условий, осложнений при добыче и т.д. Данные изменения влекут за собой обновление проектной документации на разработку нефтяных месторождений и вместе с ней приходится вносить изменения в проектную документацию по добыче воды для систем ППД.

Пользователь недр имеет право принимать оперативные решения по рациональному использованию фонда скважин всех назначений без внесения изменений в технологические схемы и проекты разработки месторождений УВС и дополнения к ним в определённых случаях,

указанных в п.3.3. Правил разработки месторождений углеводородного сырья (УВС) [1]. Если планируемые проектные решения влекут за собой необходимость корректировки проектно-технической документации (ПТД) на УВС, изменения в нее вносятся параллельно реализации решений, не вызывая задержки из-за ожидания согласования ПТД (п.3.15 Правил разработки месторождений углеводородного сырья) [1]. Если эти изменения (как при корректировке, так и без внесения изменений в ПТД на УВС) влекут за собой пересмотр схемы добычи воды, недропользователь вынужден ждать окончания реализации всей цепочки гидрогеологических работ, включая согласование технического проекта на добычу воды, прежде чем начинать ее реализацию. И, как следствие, проектные решения по воде выполняются с отставанием, что негативным образом сказывается на показателях эксплуатации нефтяного месторождения.

Также следует отметить некоторые различия в подходах к оценке запасов УВС и воды в части выделения объектов подсчета запасов. Для подземных вод объектом подсчета является скважина и нагрузка на конкретную скважину. Таким образом, при необходимости вывода из эксплуатации одной скважины и включении в схему другой, или необходимости добычи воды в большем объеме для внесения данных изменений в технический проект на добычу подземных вод необходимо инициировать новый цикл проектных гидрогеологических работ (включающий ПГИН-ПЗПВ-ПТД).

В связи со всем вышеперечисленным, регулярно возникает необходимость обновления проектной документации по воде на нефтяных месторождениях. Срок действия отдельных проектов может длиться всего 1-2 года, т.к. к моменту его согласования в ТКР возникает потребность выполнения нового цикла работ. Зачастую на Западно-Сибирских месторождениях за 5-летний период выполняется 3 цикла работ без существенного изменения общего объёма добычи подземных вод. Необходимость постоянного обновления отчетной и проектной документации при незначительном изменении схемы водозабора и объёмов добычи создаёт дополнительную нагрузку на недропользователя и влечёт за собой отставание в реализации работ, связанных с системой ППД на нефтяном месторождении. Предлагается оценить возможность разумного сокращения формальных рассмотрений изменения запасов без ущерба для качества их оценки.

Эта проблема неоднократно поднималась в экспертном сообществе гидрогеологов и геологов:

«Сложная организация системы ППД приводит к непостоянству работы водозабор-

ных скважин из-за перемен давления как в самой сети низконапорных водоводов... так и по причине изменений добычи нефти в связи с корректировками профиля добычи (соответственно, и потребности в воде), преимуществами нагнетательных скважин, особенностями функционирования установки подготовки артезианской воды (УПАВ) и блочно-комплектных насосных станций (БКНС), другими технологическими процессами. В таких условиях при переоценке запасов выполнить основное требование откачек на «работающем» водозаборе – стабильность дебита (понижения) – становится невозможным»¹.

«Получение различных видов разрешительной документации и согласований требует больших затрат времени, чем собственно проведение исследований. При этом возможность изучения и использования подземных вод часто определяется не гидрогеологическими условиями, а возможностью решения проблем, обусловленных требованиями нормативно-правовой базы»².

«Зачастую у недропользователя возникает потребность пересчитать запасы, например, в связи с необходимостью ввода в эксплуатацию скважин на новых участках.

В соответствии с действующим законодательством при этом должен быть разработан и утверждён проект ГИН, реализация которо-

го должна подтвердить проектные дебиты скважин. И только после этого готовится, и подаётся на государственную геологическую экспертизу отчёт по пересчёту запасов. На все процедуры уходит до одного года, в течение которого недропользователь вынужден добывать воду незаконно»³.

При всех сложностях согласования проектных объёмов добычи воды, водозаборы подземных вод для организации системы ППД на нефтяных месторождениях, как правило, отличаются высокой степенью изученности геолого-гидрогеологических условий, эксплуатируют водоносные горизонты большой мощности, с относительно однородными фильтрационно-ёмкостными свойствами. Соответственно, при некоторых изменениях схемы водозабора (выводе из водозабора одной скважины и включении в схему другой, незначительном увеличении числа водозаборных скважин, перераспределении проектных объёмов добычи между скважинами) фактическая «интенсивность» воздействия на водоносный горизонт не увеличивается.

Для демонстрации подобных изменений авторами были выполнены расчёты с изменением количества скважин на месторождении технических подземных вод для обеспечения системы ППД. Параметры пласта взяты типовые для апт-альб-сеноманского водоносного комплекса в интервале развития песчано-алевритистых отложений: эф-

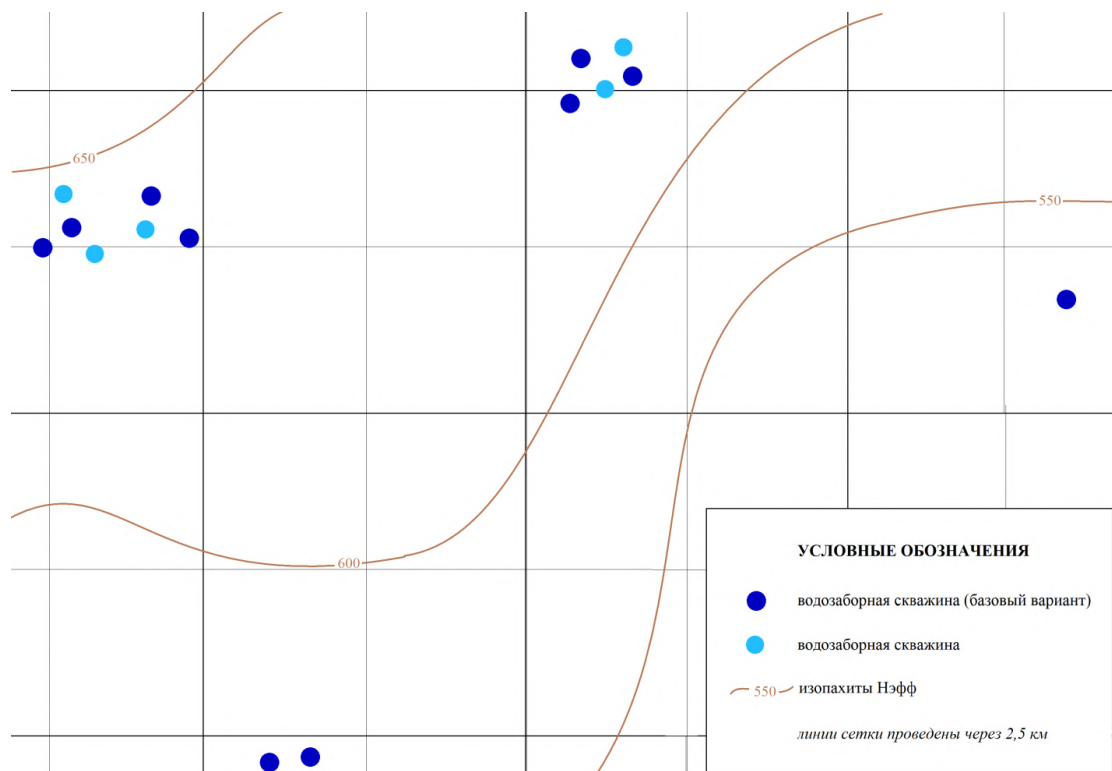


Рис. 1. Схема водозабора

фективная мощность – 600 м, водопроводимость – 200 м²/сут, пьезопроводность – 5*10⁵ м²/сут [2]. Сетка скважин взята с одного из месторождений в Западной Сибири (**рис. 1**).

Водозабор состоит из 10 скважин, моделируемое изменение количества скважин в схеме водозабора – от 5 до 15 скважин. Скважины, исключаемые из водозабора, выбраны случайным образом. Проектный объём добычи воды на месторождении – 15000 м³/сут. Максимально допустимое понижение – 300 м. Нагрузка на скважины равномерная, при исключении скважины из водозабора нагрузка равномерно перераспределяется на другие скважины. Расчёты выполнены для напорного неограниченного изолированного пласта (схема Тейса).

В **таблице 1** приведены результаты расчёта понижения в скважинах при количестве скважин от 5 до 15 (для анализа взяты максимальные расчётные понижения и средние понижения по водозабору). Здесь и далее под понижением подразумевается прогнозируемое понижение динамического уровня в скважине на проектный период 25 лет.

По результатам расчётов можно сделать вывод о том, что даже изменение числа водозаборных скважин на 50% приводит к незначительному изменению расчётного понижения при неизменной нагрузке на водозабор. На графиках ниже (**рис. 2, рис. 3**) показаны результаты расчётов с выделением 5%-го, 10%-го и 15%-го отклонения от базового понижения при числе скважин (10 скважин).

На графиках показано, что при изменении количества скважин на 30% изменение среднего и максимального понижения на водозаборе при сохранении общей проектной нагрузки составит менее 10% (или порядка 6 м в приведённом примере). В случае с месторождениями Западной Си-

бири, эксплуатирующими апт-альб-сеноманский водоносный комплекс с эффективной мощностью порядка 600 м и глубиной залегания ниже 1000 м, изменение понижения на 6 м (около 1% от водонасыщенной мощности и 2% от допустимого понижения) можно считать погрешностью.

Естественно, при другой исходной схеме водозабора или большей нагрузке на скважины значения могут измениться более значительно, однако приведённый пример наглядно демонстрирует, что требования по проведению дополнительных работ при обосновании незначительных изменений схемы водозабора избыточны.

Таким образом, учитывая особенности организации водозаборов технических подземных вод для системы ППД на нефтяных месторождениях, при перераспределении водотоков между скважинами участка или при необходимости вывода из эксплуатации одной скважины и включения в схему другой, при сохранении суммарного дебита, выполнение нового цикла работ ПГИН-ПЗПВ-ПТД является нецелесообразным.

Авторы считают, что при описанных выше изменениях схемы водозабора, на участках с достаточно хорошей степенью изученности (месторождения подземных вод с запасами категории А и В) и в простых геолого-гидрогеологических условиях, у недропользователя должна быть возможность внести соответствующие изменения в действующий проект разработки месторождения без предварительной переработки ПГИН и ПЗПВ и согласовать его в установленном порядке. При этом в проекте должны быть приведены обоснования и необходимые расчеты, отражающие последствия изменения схемы водозабора на месторождении подземных вод и соответствие их условиям, принятым при подсчете запасов.

Таблица 1.
Расчёт понижений в скважинах

Количество скважин, шт.	Проектная нагрузка на скважину, м ³ /сут (Q _{общ} = const = 15 000 м ³ /сут)	Максимальное понижение в скважине по водозабору, м	Среднее понижение в скважинах по водозабору, м
5	3 000	71,2	68,8
6	2 500	65,7	64,7
7	2 143	65,1	62,2
8	1 875	64,4	60,8
9	1 667	64,0	59,9
10 (базовый)	1 500	62,6	58,8
11	1 364	61,4	56,8
12	1 250	58,9	55,0
13	1 154	56,7	53,7
14	1 071	54,8	52,6
15	1 000	52,7	52,0
Максимальное отклонение от понижения при количестве скважин = 10, м / %		9,9 / 15,8	10,0 / 17,0

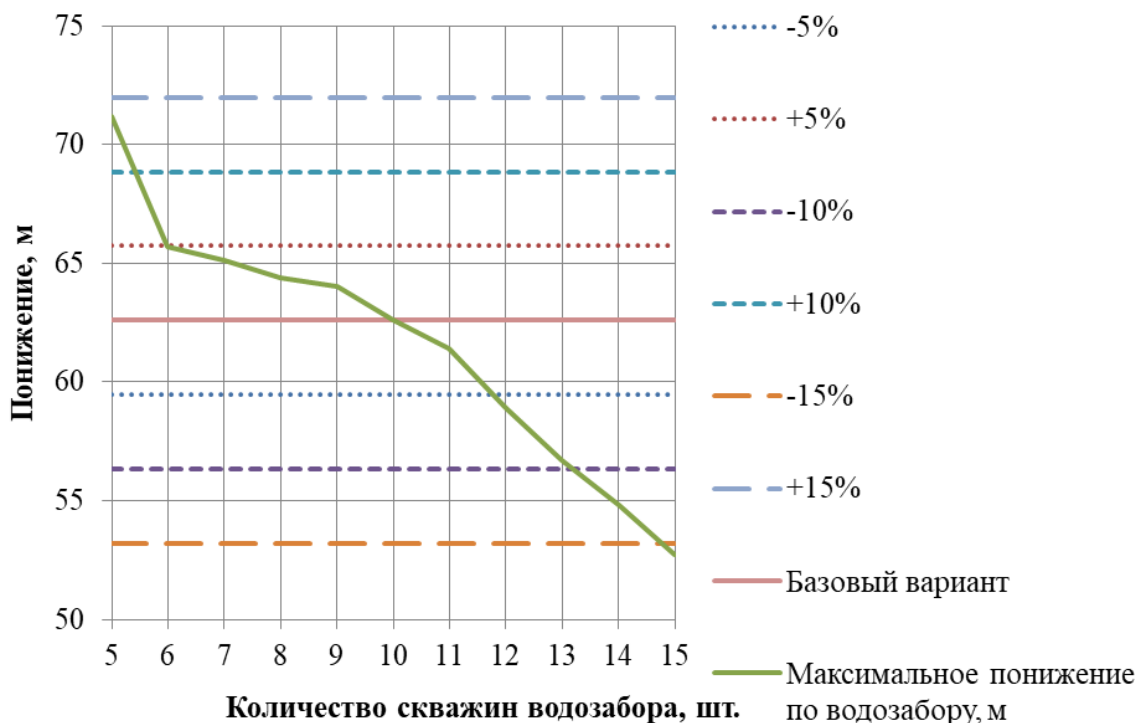


Рис. 2. Изменение максимального понижения по водозабору в зависимости от количества скважин

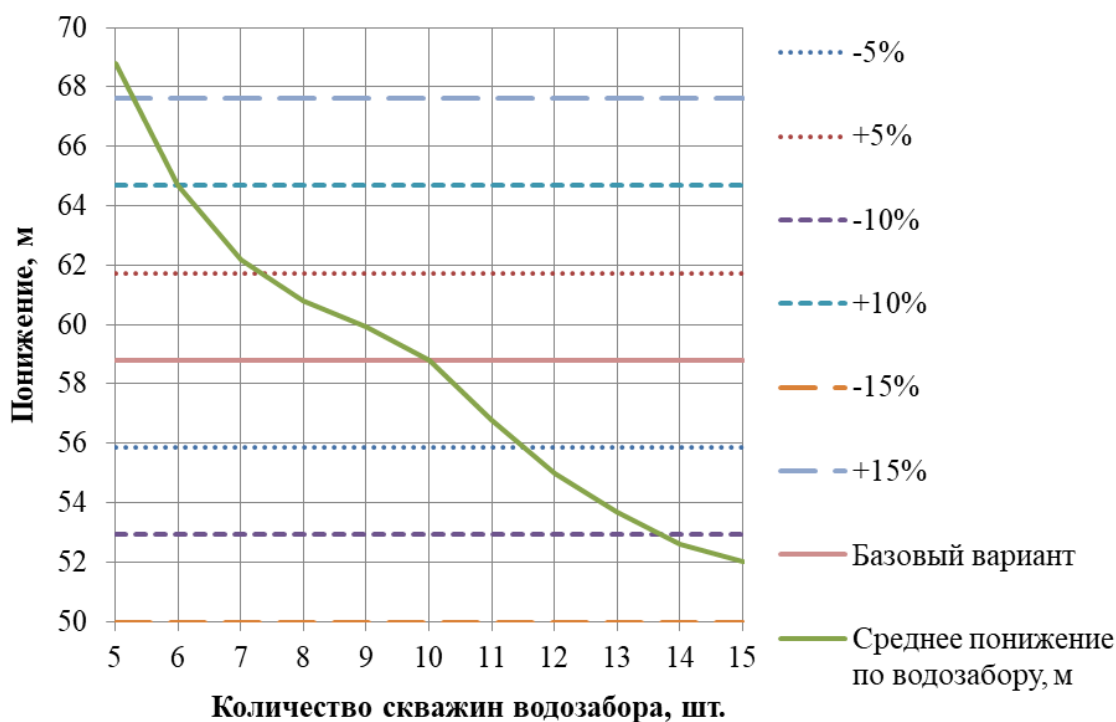


Рис. 3. Изменение среднего понижения по водозабору в зависимости от количества скважин

Авторы статьи предлагают исключить необходимость обновления отчетной и проектной документации (проекты геологического изучения недр, переоценка запасов подземных вод) при добыче подземных вод для нужд ППД в

случае незначительных отклонений технологических показателей, не влияющих на разработку месторождений технических подземных вод и закрепить данный подход в правилах разработки месторождений подземных вод. ^(XX)

Литература

1. Приказ Минприроды России № 356 от 14.06.2016 г. Москва, 2016 г.
2. Боровский Б.В., Палкин С.С., Фортыгин А.В. и др. Региональная оценка запасов апт-сеноманских подземных вод в ХМАО для обеспечения систем ППД и возможности утилизации излишков подтоварных вод. М., ГИДЭК, 2003.

Список цитирования:

1. Данилова М.А., Дружинин И.А., Теняков Е.О. / Сборник научных трудов II научно-практической конференции по вопросам гидрогеологии и водообеспечения – 2020 – С. 6.
2. Курчиков А.Р., д-р геол.-мин. наук, заслуженный геолог РФ, член-корреспондент РАН, директор Западно-Сибирского филиала ИНГГ им. Трофимука СО РАН / Недропользование XXI век – 2019 – № 1(77) – С. 8.
3. Язвин А.Л., д-р геол.-мин. наук, руководитель геологической службы ЗАО «ГИДЭК» / Недропользование XXI век – 2019 – № 1(77) – С. 8.

UDC: 556.3.01

N.I. Akzigitov, Head of the Hydrogeology Department, niakzigitov@udn.rosneft.ru**V.Y. Masterkova**, Leading Engineer, vymasterkova@udn.rosneft.ru**E.G. Borodin**, Deputy Head of the Department of Design and Engineering and Technological Support of Field Development**M.A. Basyrov**, Deputy Director of the Field Development Department**E.G. Kolosova**, Chief Specialist of the Department of Design and Engineering and Technological Support of field Development

ON THE ISSUE OF CRITERIA FOR UPDATING THE PROJECT DOCUMENTATION FOR THE EXTRACTION OF GROUNDWATER FOR RESERVOIR PRESSURE MAINTENANCE SYSTEM

Abstract: In this paper, the features of the regulatory framework used in the extraction of technical groundwater to maintain reservoir pressure in oil fields are considered. The problems arising from changes in the design scheme of water intake or a slight change in water demand are briefly outlined. Proposals are made to change approaches in the implementation of design and reporting works in the extraction of groundwater for the needs of the reservoir pressure maintenance system.

Keywords: reservoir pressure maintenance, geological study project, reserves, water intake scheme, rules for the development of groundwater deposits, technical project for the development of groundwater deposits, oil fields.



Устьянцев В.Н.
геолог
uvn_50@mail.ru

ЗОНЫ РАЗЛОМОВ И ИХ РОЛЬ В ПРОЦЕССЕ РУДОЕНЕЗА

В данной статье отражена роль тектонических нарушений в процессе рудообразования.
Ключевые слова: тектонические нарушения, рудообразование, закон И. Пригожина.

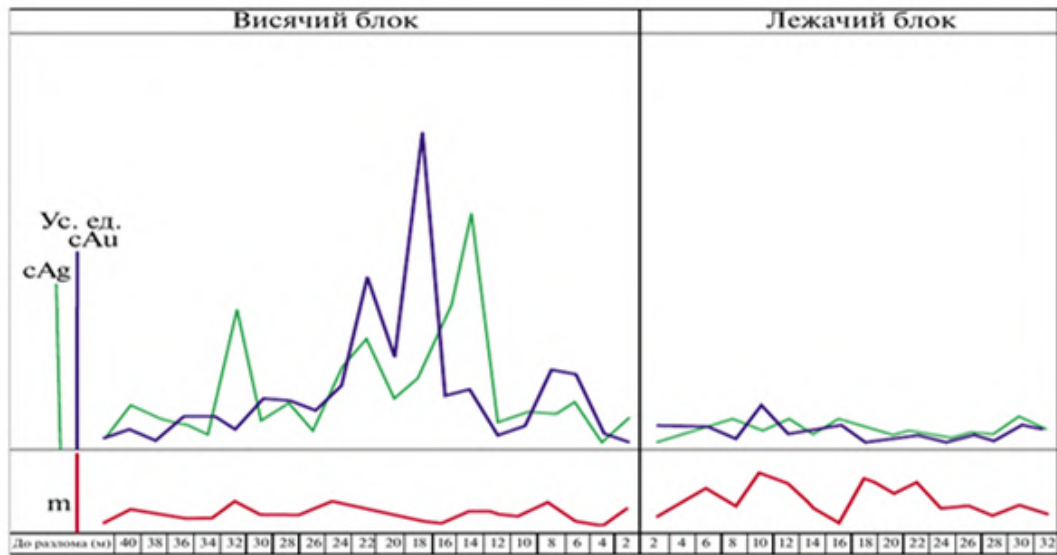
«Устойчивость процессов регионального структурообразования, как общепланетарное качество системы Земли, вместе с периодичностью и дискретностью тех же региональных структур, свидетельствуют о том, что главные свойства геологических структур, всех уровней иерархии, отражают единство общепланетарного создающего их механизма. Таким механизмом является автоколебательная система Земли, генерирующая волны напряжений различной длины, которые определяются особенностями ее строения» (В.В. Богацкий, 1986).

Проницаемые зоны тектонических нарушений

М.И. Погребницкий, М.В. Рац, С.Н. Чернышев в 1971 году показали, что «с приближением к разрыву число трещин заметно возрастает, причем довольно резко. По мере удаления от разрыва графики интенсивности трещиноватости выполаживаются и становятся практически горизонтальными».

В более ранних работах, эти же авторы, на основе исследования трещиноватости пород Таджикской депрессии, Центрального Казахстана и траппов Приангарья установили, что «зависимость расстояния между соседними трещинами от расстояния до разрыва аппроксимируется экспоненциальной функцией и напоминает картину затухания напряжений с удалением от очагов землетрясений в модели Рейда-Беньофа, и фактически наблюдаемые смещения разломов типа Сан-Адерс и др.».

Особая структура глубинных разломов и узлов их пересечения, образуют замкнутую поверхность, которая является колебательным контуром. Контур является коллектором газов, флюидов, магмы. Так, несущие энергию волны, попадая в неоднородную среду, начинают отражаться и преломляться на границах раздела сред. Такие границы могут обусловить появление замкнутой поверхности, от которой происходит отражение волн, что придает объему, ограниченному этой поверхностью, колебательные свойства



Средняя Азия. Кураминская подзона. Месторождение Кочбулак. О волновых эффектах. Влияние безрудного тектонического нарушения меридионального простирания на распределение концентрации минерального сырья в крутопадающем тектоническом нарушении широтного простирания

Графики построены по данным четырех штольневых горизонтов – 160 м. Концентрация полезного компонента в рудном теле № 14 определялась посредством пробирного анализа

Рис. 1. Проницаемые зоны тектонических нарушений

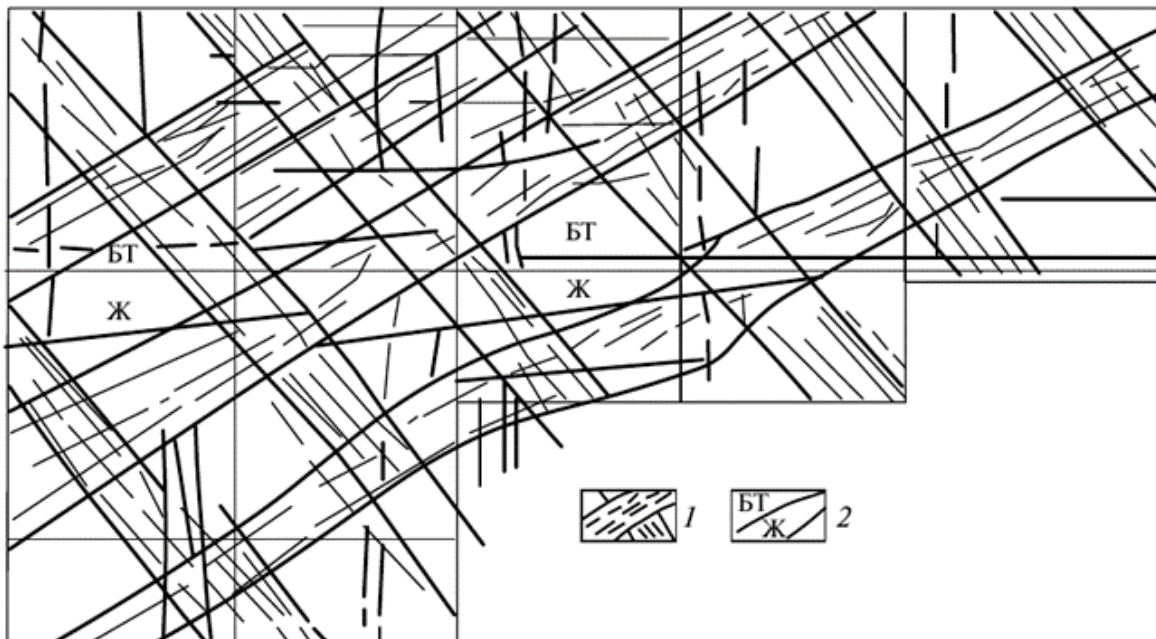


Схема. Масштаб: 1:25 000. Анализ расположения в земной коре тектонических нарушений. Средняя Азия, Кураминский хребет (60 км). Элементарные блоки системы Земли. Расположение парных разломов в земной коре. (Анализировалась геологическая карта Б.Д. Ляшкевича, 1988)

1 – узлы пересечения парных разломов; 2 – БТ – Баштавакский, Ж – железный разломы [Устьянцев. 1989]

Рис. 2. Расположение парных разломов

и определяет собственные периоды волн, характерные для данного объема колебательной системы. В данном случае энергия волны будет отдаваться на преобразование вещества. В условиях замкнутого контура скорость волны снизится за счет наличия отражающих поверхностей (прямолинейное распространение волны невозможно в неоднородной среде). Системы зон глубинных разломов всегда сопровождаются генетически с ними связанными ослабленными резонансно-тектоническими структурами, – местами минерального сырья (*рис.1*). Наиболее интенсивный приток мантийного вещества, фиксируется в зонах рифтогенеза.

Парные разломы

«Парными разломами принято называть пару субпараллельно расположенных линейных разломов (В.Е. Хаин, Е.Е. Милановский), между которыми располагается зона высокой степени подвижности и проницаемости, с своеобразной историей и сложного строения, которая отражает положение глубинного разлома».

Парные разломы более выражены в пределах развития срединных массивов, глубина их заложения достигает 10 км, далее они выгораживают и переходят в глубинные.

Пересекаясь зоны разбивают кору на блоки.

Парные разломы представляют собой шовные зоны между двумя положительными и отрицательными блоками. В парном разломе различаются главный оконтуривающий шовную зону разлом и второстепенный, возникающий немного позже и представляющий основную «оперяющую» структуру главного разлома. Главный разлом располагается ближе к отрицательной структуре, «оперяющий» – к положительной. Падение основных плоскостей разломов – под положительные структуры. Активно развиваться парные разломы стали с рифея, до этого времени наиболее проявлены были широтные и меридиональные направления (разрывной, тип нарушений). (*рис.2*)

Пересекаясь парные разломы разбивают земную кору на «элементарные» блоки. За счет постоянных блоковых движений, количество трещин в парных разломах, простирающихся параллельно основному сместителю увеличивается, что приводит к увеличению мощности этих разломов и степени их проницаемости. Из всех типов разрывных нарушений, наиболее благоприятны для локализации месторождений являются парные разломы.

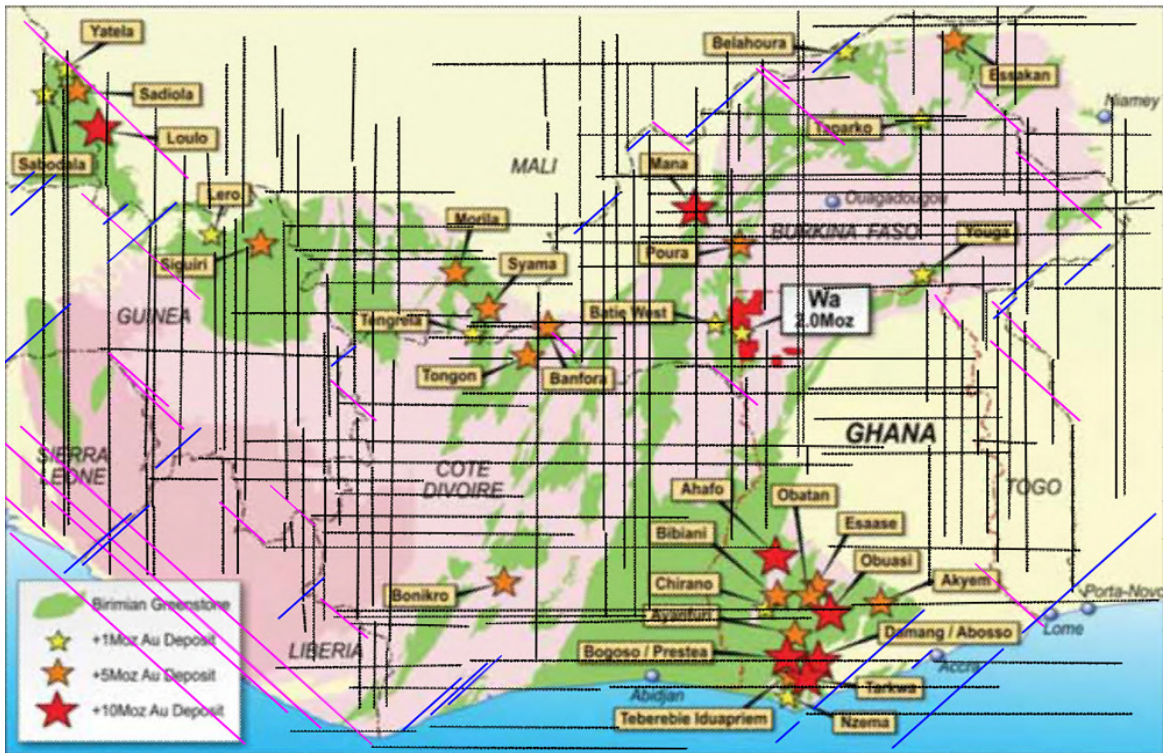
Интерес к срединным массивам был вызван тем, что для них характерно многообразие богатых месторождений. Для Кураминского массива, характерны сложные по составу рудные формации: скарново-полиметаллическая,

медно-порфировая, кварц-серебро-сульфидная, кварц-медно-висмутовая, золотосульфидная, золотосурьмяная, скарново-магнетитовая, скарново-молибденит-шеелитовая. Здесь же встречаются низкотемпературные (серебро) – свинцово-цинковая, барит-карбонат-флюоритовая, алунитовая и другие формации. (*рис.3*)

Разломы СЗ простирания – сдвиги; СВ – надвиги; Ш и М – раздиги. Раздиги проявлены с архея до квартера, диагональная динамопара наибольшее развитие получила после формирования гранито-гнейсовой сферы, – ранний рифей. Золото контролируется разломами раздвигого типа, то-есть, золото контролируется наиболее проницаемыми структурами и тяготеет к узлам пересечения структур.

Краевые разломы. На огромное значение краевых разломов в истории развития земной коры было указано В.А. Обручевым и В.И. Поповым (1938). В.И. Попов краевые разломы назвал «дискорданными линиями», и считал, что это – крупные разломы сингенетичные с образованием осадков, которые разделяют области согласного и несогласного накопления отложений (обычно разделяющихся в обеих областях по мощности и по фациальному составу). Это позволяет обойтись без предположения о тектоническом сближении фаций, маловероятным при выдержанном крутом падении разграничивающих их разломов. Он также отметил краевое положение разломов по отношению к простиранию основных структур.

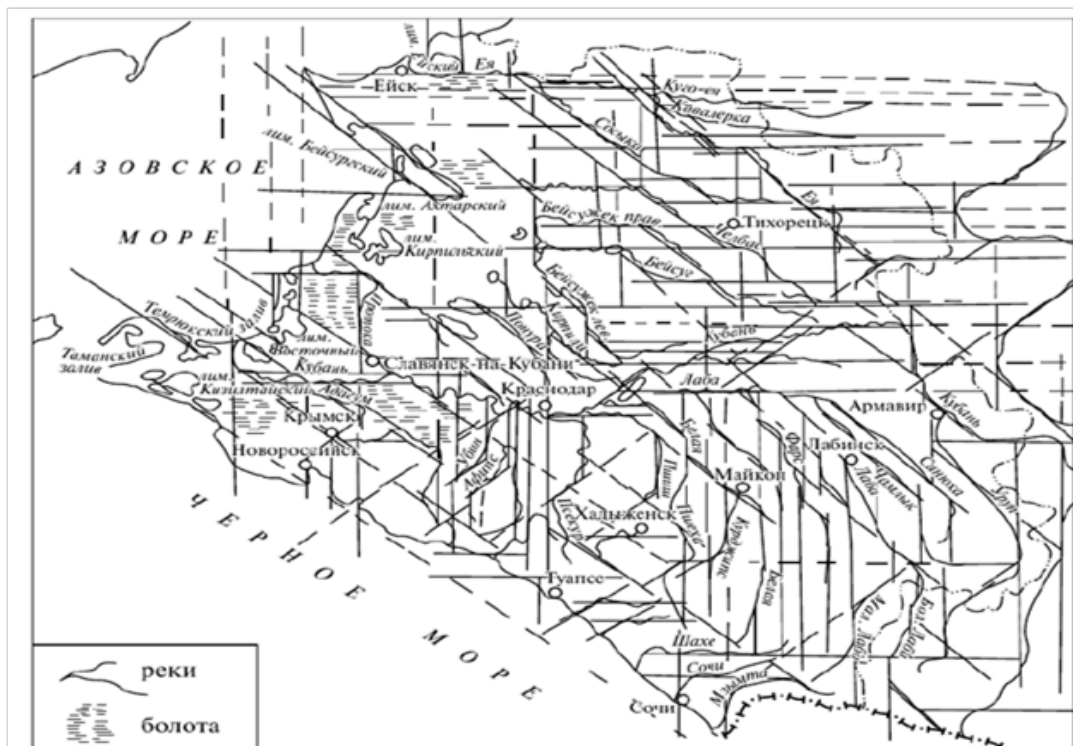
А.В. Пейве (1945) относит эти разломы к глубинным. М.М. Кухтиков (1968) отмечал, что в направлении простирания зон межзональные разломы непрерывно прослеживаются на многие десятки и сотни километров, т.е. на те же расстояния, что и тектонические зоны складчатой области. Анализ краевых разломов показал, что это – группа нарушений, продольная (согласная) по отношению к простиранию геоантиклинальных складчатых сооружений – зон повышенной деформации земной коры, она тесно связана с их развитием. В то же время краевые разломы составлены из отдельных отрезков региональных разломов различных простираний. Общая черта краевых разломов – граничные дизъюнктивные дислокации, разделяющие различные по знаку структурные формы, своеобразные границы смены мощностей и типов осадков характерных рудопоявлений и магматизма. Эта система крутопадающих разломов, сопровождаемых зонами дробления, расланчивания, повышенного метаморфизма, часто сопровождается поясами различного типа оруденений. Краевые разломы ограничивают древние платформы и активизированные их выступы от геосинклинальных поя-



Карта расположения месторождений золота. СЗ Африка. М-я контролируются разломами. С-л: В.Н. Устьянцев, 2022.

Рис. 3.

Карта расположения месторождений золота. СЗ Африка. М-я контролируется разломами. С-л: В.Н. Устьянцев, 2022



Западный Кавказ. Речная сеть маркирует разломы. Четыре основных направления (В.Н. Устьянцев, 1986)

Рис. 4.

Западный Кавказ. Речная сеть маркирует разломы. Четыре основных направления (В.Н. Устьянцев, 1986)

сов: Донбассо-Уральского, Донбассо-Южно-Тяньшаньского и Среднеазиатского [О.М. Борисов].

Геометрия береговой линии океанов, морей, рек, озер (гидрографическая сеть), – маркирует иерархию разломов земной коры. Сеть разломов четырех направлений системы Земли контролирует все геологические процессы в ней происходящие. (рис.4)

Как показало моделирование (Гарат И.А. 2001), «энергия упругой волны, генерируемой локальным генератором, увеличивает проницаемость ослабленных зон и нарушений на два порядка, при этом пористость возрастает в пять раз» [5]. Данный факт объясняет высокую степень проницаемости зон систем глубинных разломов и их энергетикку. Ослабленные, легко размываемые зоны, маркируют разломы, которые сопровождаются резонансно-интерференционными, проницаемыми зонами, – которые являются коллекторами УВ и др. минералогических ассоциаций (разлом – генератор волн энергии второго рода, развивающийся сингенетично-унаследованно). **Важно отметить**, что гидросеть, геометрия береговой линии морей, озер, – фиксируется топографами – инструментально. Т.е., по факту, получаем не затратную, высокоточную геологическую съемку сети разломов, столь важную при поисках и разведке минерального сырья.

Такой метод картирования, – очень надежен и точен, так как действует космогенический фактор, который ответственен за закономерности

расположения объектов космоса, а значит и структурных элементов этих объектов. Блоковое строение земной коры проявлено на самом низком уровне иерархии.

Теорема И. Р. Пригожина (1947), термодинамики неравновесных процессов:

«при внешних условиях, препятствующих достижению системой равновесного состояния, стационарное состояние системы соответствует минимальному производству энтропии».

«Синергетика объясняет процесс самоорганизации в сложных системах следующим образом:

Закрытая система в соответствии с законами термодинамики должна в конечном итоге прийти к состоянию с максимальной энтропией и прекратить любые эволюции.

Самоорганизация неразрывно связана с волновыми процессами. В любых открытых, диссипативных и нелинейных системах неизбежно возникают автоколебательные процессы, поддерживаемые внешними источниками энергии, в результате которых протекает самоорганизация» (И.Р. Пригожин).

Процесс формирования месторождений минерального сырья, – антиэнтропийный. Система формирования минерального сырья – открытая, благодаря наличию тектонических нарушений в земной коре. Таким образом, главным фактором формирования месторождений являются, – тектонические нарушения. То есть, тектонические нарушения контролируют месторождения минерального сырья.

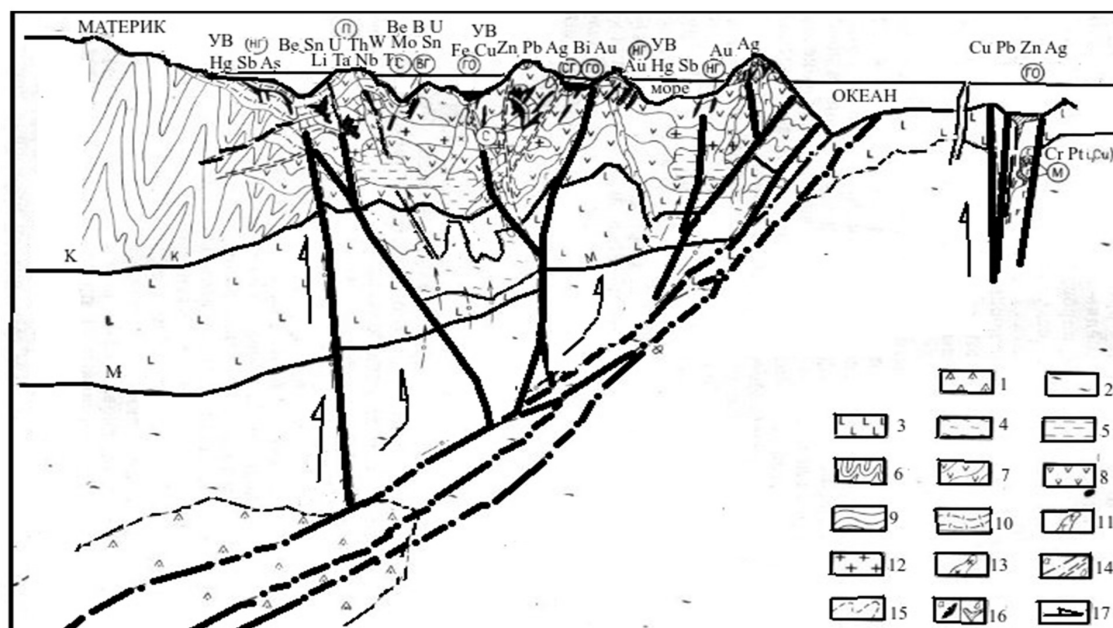


Рис. 5. Модель образования рудных месторождений в этап проявления очагов базальтовой и гранитной магмы (разрез) (Е.М. Некрасову)

Модель образования рудных месторождений в этап проявления очагов базальтовой и гранитной магмы (разрез) (Е.М. Некрасову).

М – поверхность Мохоровичича;

К – поверхность Конрада;

Ф – фокальная зона Заварицкого-Беньофа (зона субдукции);

Буквами в кругах обозначены месторождения:

пегматитовые – П;

скарновые – С;

гидротермальные: ВГ – высокотемпературные;

СГ – среднетемпературные;

НГ – низкотемпературные; гидротермально-осадочные – ГО;

1 – вещество астеносферы;

2 – верхняя мантия;

3 – породы базальтового слоя; очаги:

4 – базальтовой магмы;

5 – гранитной магмы;

6 – древние породы гранитоидного слоя;

7 – терригенно-вулканогенные породы;

8 – экструзивные образования;

9 – карбонатно-терригенные породы;

10 – терригенные породы;

11 – интрузивы основного и щелочного состава;

12 – батолиты гранитоидов;

13 – штоки гранитоидов;

14 – зоны деформации: а – субдукции (фокальные); б – глубинного типа;

15 – предполагаемые границы геологических образований;

16 – рудные тела: а – добываемые руды; б – руды будущего;

17 – направление потоков флюидов. ❶

Литература

1. Устьянцев В.Н. Энергетика, дегазация автоколебательной системы Земли. О едином волновом механизме структурообразования и генерации минералогических ассоциаций в блоках земной коры. ISBN: 978-5-02-040199-0, Москва, Издательство Наука, 2019.
2. Богацкий В.В. Механизм формирования структур рудных полей. – М.; Недра, 1986.
3. Крейтер В.М. Структуры рудных полей и месторождений. – М.; Гостеолтехиздат, 1956.
4. Якубов Д.Х., Ахмеджанов М.А., Борисов О.М. Региональные разломы Среднего и Южного Тянь-Шаня. – Т.; «Фан», 1976.

UDC:55

V.N. Ustyantsev, geologist, uvn_50@mail.ru

FAULT ZONES AND THEIR ROLE IN THE PROCESS OF ORE PRODUCTION

Abstract: This article reflects the role of tectonic disturbances in the process of roll formation.

Keywords: tectonic disturbances, ore formations, I. Prigogine's law.



Логинов А.А.
канд. геол.-мин. наук
ООО «НТПЦ СЕНОМАН»
ведущий специалист
Login1951@mail.ru

О РЕЗУЛЬТАТАХ СТРУКТУРНЫХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ ОТДЕЛА ПОДЗЕМНЫХ ВОД ФБУ «ГКЗ»

На основании опыта работы Отдела подземных вод ФБУ ГКЗ сделана попытка анализа результатов его структурирования.

Ключевые слова: ФБУ ГКЗ, филиалы ФБУ ГКЗ, анализ результатов предыдущей и современной работы Отдела подземных вод ГКЗ, внештатные и штатные эксперты ГКЗ.

С деятельностью ГКЗ я знаком не только снаружи как внештатный эксперт, но и внутри, поскольку в течение 2003 года работал в должности «главного специалиста Отдела подземных вод ГКЗ». После увольнения из этой организации в 2004 году не потерял с ней связи и осуществляю до настоящего времени экспертизу геологических отчетов, посвященных подсчету запасов подземных вод различного целевого назначения и обоснованию закачки промышленных стоков в глубокие подземные горизонты, в качестве внештатного эксперта.

С учетом опыта этой работы попробую оценить результаты нынешних произошедших за пандемийное время изменений в структуре и вообще в работе отдела подземных вод ФБУ «ГКЗ».

С 2020 года ФБУ «ГКЗ» стало функционировать в дистанционном формате из-за мировой пандемией коронавируса (сovid-19). Такой формат соблюдается и поныне хотя ВОЗ официально объявила о том, что для covid-19 статус пандемии в настоящее время снят.

В этой связи, замечу, что если в течение пандемии удаленная работа внутренних и внешних

экспертов ФБУ «ГКЗ» была обязательной (наверное, небезосновательно), то в настоящее время, вряд ли такой режим работы можно одобрить, поскольку даже видеоконференции (кстати, проводящиеся крайне редко) не могут заменить живого общения штатных и нештатных сотрудников этой организации с авторами представляемых на государственную экспертизу геологических отчетов. Вообще сохранение принятой в пандемийный период практики отказа от проведения в ФБУ «ГКЗ» очных рабочих и пленарных заседаний (до пандемии проводившихся регулярно) по рассмотрению отчетных материалов, на мой взгляд, является большой ошибкой. Дело в том, что такие заседания, кроме оценки экспертными комиссиями пригодности отчетных материалов для решения поставленных недропользователями геологических задач, нередко выполняли просветительскую функцию, способствующую повышению квалификации авторов отчетных материалов и, соответственно, качества этих материалов. Последнее немаловажно, поскольку чем более качественные отчетные материалы представляются на государственную экспертизу,

тем больше оснований у экспертной комиссии принять взвешенное и обоснованное во всех отношениях решение по результатам экспертизы.

Круг задач, рассматриваемых ранее на заседаниях ГКЗ (особенно рабочих), как правило, выходил за рамки определения соответствия (или несоответствия) отчетных материалов по составу и оформлению требованиям ГКЗ. Зачастую решались и другие не менее (а может быть и более) важные задачи по оценке правильности методики исследований, выполненных на изученных участках недр, результатов обработки данных этих исследований, обоснования гидрогеологических параметров целевых гидрогеологических стратонов, прогнозных расчетов и многое другое. При этом иногда на повестке дня стояли настолько сложные вопросы, что решить их можно было только совместными усилиями экспертных комиссий и авторов отчетных материалов, а при необходимости и с участием пользователей недр тех участков, результаты изучения которых в виде геологических отчетов представлялись на государственную экспертизу. За редким исключением указанные вопросы решались к удовлетворению всех перечисленных участников заседаний ГКЗ. Между тем по телефону решать такие вопросы в режиме дистанционной работы бывает крайне затруднительно. Поэтому представляется, что было бы исключительно полезным для повышения продуктивности работы ФБУ ГКЗ вновь перейти с удаленного формата работы к офисному (очному), т.е. тому формату, который в течение предыдущего почти векового периода работы этой организации доказал свою высокую эффективность на практике.

Теперь, что касается структурирования подразделений ГКЗ, ответственных за экспертизу отчетных материалов, посвященных подсчету запасов подземных вод и обоснованию размещения в недрах промышленных стоков. Если раньше экспертизой таких материалов занимался только один Отдел подземных вод, то теперь экспертизу выполняет Управление подземных вод и подземных сооружений в составе «Сектора подземных вод», «Сектора подземных сооружений», «Отдела подземных вод (мелкие)» (названия позаимствованы из официального сайта ФБУ «ГКЗ»). Не оспаривая необходимость указанного структурирования Отдела подземных вод ГКЗ, ранее вполне успешно справлявшегося с решением задач, которые ныне решают несколько подразделений Управления подземных вод и подземных сооружений, замечу, что, на мой взгляд, единственным очевидным результатом такого «почкования» указанного Отдела стало существенное пополнение количества, привлекаемых к экспертизе отчетных материалов молодых специалистов в качестве внештатных экспертов

ГКЗ. Однако, следует заметить, что эти специалисты не всегда способны на высоком профессиональном уровне выполнять экспертизу отчетных материалов и давать правомерную и обоснованную оценку этим материалам. Обусловлено это вероятно недостаточным опытом работы указанных специалистов в практической гидрогеологии и проведении экспертиз отчетов. В принципе опыт, как говорится, дело наживное и, наверное, со временем большинство этих специалистов при перманентном повышении их квалификации могут стать экспертами высокого класса. Но пока, к сожалению, результаты экспертиз большинства молодых экспертов зачастую сводятся к оценке того, насколько выполненные на оцениваемых участках недр виды и объемы геологоразведочных работ (результаты которых представляются в виде геологических отчетов на экспертизу в ГКЗ) соответствуют таковым, предусмотренным проектами геологического изучения недр (ГИН) этих участков. Между тем, экспертиза отчетных материалов, как известно, состоит не только и не столько в оценке степени соответствия выполненных работ, тому, что предусмотрено проектом ГИН, сколько в определении достаточности и пригодности полученных при изучении участков недр результатов исследований для решения поставленных техническим заданием недропользователя гидрогеологических задач (подсчета запасов подземных вод или получения доказательств возможности размещения в недрах участков заданного объема промстоков, а также проектирования водозаборных сооружений или объектов использования недр для целей, не связанных с добычей полезных ископаемых). При этом негативное впечатление от творчества новых экспертов, обусловлено не только тем, что ими, по существу, не достигаются истинные цели экспертиз, но и откровенно низким качеством последних. Особенно это характерно для экспертных заключений специалистов, приглашенных в качестве внештатных экспертов из специализированных организаций (так или иначе имеющих отношение к геологии), расположенных за пределами Московского региона в том числе из филиалов ГКЗ, широко представленных на территории РФ. Этот вывод сделан на основании довольно подробного знакомства с экспертными заключениями указанных специалистов. Дело в том, что в свое время пришлось по просьбе руководства Отдела подземных вод ГКЗ проверить многочисленные экспертные заключения филиалов ФБУ «ГКЗ» с целью оценки качества указанных заключений и принятия мер по повышению этого качества. Нередко заключения (сделанные с участием провинциальных внештатных экспертов и, несомненно, под их значительным влиянием), характери-

зовались противоречиями и многочисленными недостатками. В частности, экспертные комиссии соглашались с бездоказательной категоризацией запасов подземных вод, необоснованностью их количества, подсчетом запасов подземных вод различных категорий по одним и тем же скважинам и без учета взаимовлияния оцениваемого и соседних водозаборов-аналогов или участков закачки промстоков. Часто решения экспертных комиссий характеризовались толерантностью к тому, что авторами отчетных материалов не были надежно обоснованы допустимые снижения уровня подземных вод в водозаборных скважинах и устьевые давления поглощающих скважин, проектные дебиты тех и других скважин, фильтрационные параметры целевых водоносных объектов, соответствие качества подземных вод целевому назначению использования и отнесение запасов этих вод к балансовым. Бывали случаи, когда экспертные комиссии соглашались со сроками и этапами опытно-промышленной или промышленной эксплуатации участков закачки стоков при отсутствии на то необходимых аргументов. Перечисленный список недостатков далеко не полный, можно перечислять их чуть ли не до бесконечности. Несомненно, это свидетельствует о недостаточно высоком уровне квалификации штатных и нештатных экспертов территориальных филиалов ГКЗ, не лучшим образом сказывается на результатах работы и в итоге на репутации территориальных филиалов ГКЗ.

Несомненно, что и репутация центрального органа ГКЗ (ФБУ «ГКЗ») может пострадать (чего вообще нельзя допускать в отношении учреждения, стоящего на страже интересов государства), если хотя бы не дозировать использование таких специалистов в качестве внештатных экспертов. Кстати, основываясь на собственном опыте, могу сказать со всей ответственностью, что до пандемийного периода, экспертные заключения ФБУ «ГКЗ» были на порядок выше заключений территориальных филиалов ГКЗ по информативности, стилю изложения и обоснованности принимаемых

решений. Объяснялось это в числе прочего и тем, что внештатными экспертами Отдела подземных вод ФБУ ГКЗ были, как правило, высокопрофессиональные специалисты из Москвы и Московской области, которые во многом обеспечивали высокий уровень сводных экспертных заключений. Многочисленная плеяда этих специалистов внесла большой вклад в развитие научных аспектов гидрогеологии и была поэтому известна не только у нас в стране, но и за рубежом. Сейчас, к большому сожалению, многие из них из них ушли из жизни. Тем не менее еще достаточно много внештатных экспертов ГКЗ, работающих в Московских научных и производственных организациях (так уж исторически сложилось, что всегда наиболее передовые, в том числе гидрогеологические организации сосредоточены в центре и обеспечены высококвалифицированными кадрами), могут продолжать вносить серьезный вклад в экспертизу отчетных материалов. Однако в настоящее время эти эксперты намного реже, чем до пандемии коронавируса привлекаются (особенно Сектором подземных сооружений ГКЗ) к указанной деятельности и все больше заменяются на новых экспертов, не всегда отвечающих требованиям, предъявляемым к этой категории специалистов. Вряд ли это способствует полноценному выполнению важных задач, которые должна решать ГКЗ в соответствии со своим статусом.

Таким образом, не оспаривая политику ГКЗ в части привлечения к своей работе новых экспертов, призываю перед этим, во-первых, всесторонне оценивать их квалификацию и целесообразность использования в указанном качестве, во-вторых, в любом случае дозировать привлечение экспертов из провинций и вернуться к практике более частого использования для экспертизы отчетных материалов проверенных на деле «старых» внештатных экспертов ГКЗ из центрального региона, обладающих высоким профессионализмом и поэтому способных наиболее эффективно обеспечивать выполнение миссии ГКЗ по рациональному недропользованию в интересах государства. ^{XXI}

UDC: 556.3.01

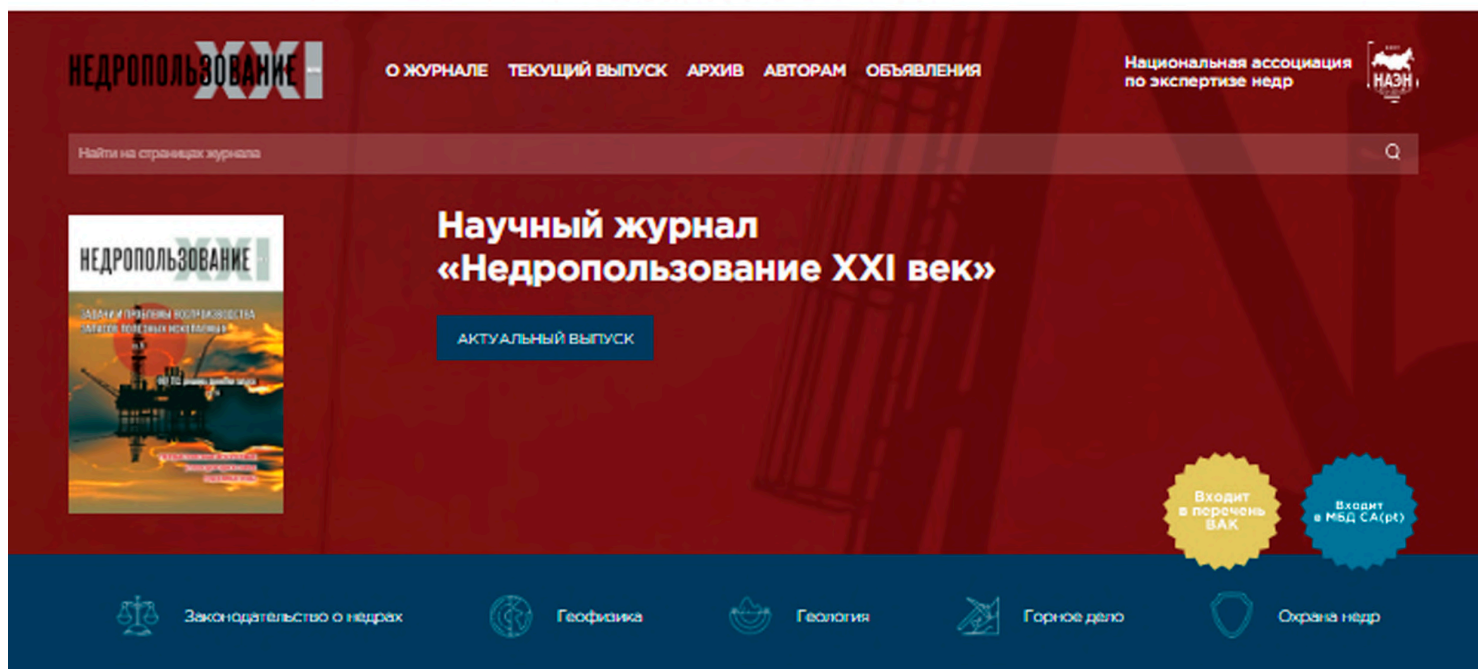
A.A. Loginov, Login1951@mail.ru

ON THE RESULTS OF STRUCTURAL TRANSFORMATIONS OF THE GROUNDWATER DEPARTMENT OF FBU «GKZ»

Abstract: Based on the experience of the Groundwater Department of the Federal State Budgetary Institution GKZ, an attempt is made to analyze the results of its structuring.

Keywords: FBU GKZ, branch of FBU GKZ, analysis of the results of the previous and current work of the GKZ Groundwater Department, freelance and in-house GKZ experts.

Недропользование XXI век



The screenshot shows the homepage of the journal website. At the top left is the journal logo "НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЕ XXI". To its right are navigation links: "О ЖУРНАЛЕ", "ТЕКУЩИЙ ВЫПУСК", "АРХИВ", "АВТОРАМ", "ОБЪЯВЛЕНИЯ". On the top right is the logo of the National Association of Experts in Mineral Resources (НАЭЭН) with the text "Национальная ассоциация по экспертизе недр". Below the navigation is a search bar with the text "Найти на страницах журнала" and a magnifying glass icon. The main content area features a large image of the journal cover on the left and the title "Научный журнал «Недропользование XXI век»" in the center. Below the title is a blue button labeled "АКТУАЛЬНЫЙ ВЫПУСК". On the right side of the main area are two circular badges: a yellow one saying "Входит в перечень ВАК" and a blue one saying "Входит в MSD CA (p)". At the bottom of the main area is a dark blue navigation bar with icons and labels for "Законодательство о недрах", "Геофизика", "Геология", "Горное дело", and "Охрана недр".

О научном журнале

Научно-технический журнал для людей, углубленно интересующихся актуальными вопросами рационального недропользования.

Освещает актуальные проблемы законодательства, регулирующего отношения в сфере недропользования; отечественные и мировые стандарты оценки запасов и ресурсов полезных ископаемых; инновационные технические решения и новые технологии разведки и разработки месторождений; проблемы импортозамещения; дает анализ анализа состояния и перспектив развития минерально-сырьевой базы России; доминирующих тенденций на внутреннем и мировом рынках сырья.

[ПОДРОБНЕЕ](#)

ОБРАЩЕНИЕ главного редактора Д. Б. Бурдин

Добро пожаловать на сайт электронной версии научного журнала «Недропользование XXI век», учредителем которого является Ассоциация организаций в области недропользования "Национальная ассоциация по экспертизе недр".

[ЧИТАТЬ ДАЛЕЕ](#)



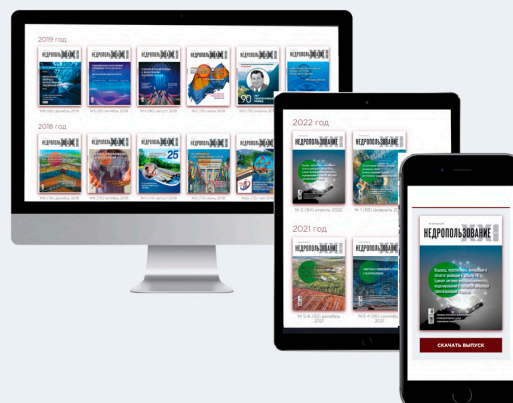
УВАЖАЕМЫЕ КОЛЛЕГИ!

ОБНОВЛЕН САЙТ ЖУРНАЛА "НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЕ XXI"

ТЕПЕРЬ ВСЕ ВЫПУСКИ ЖУРНАЛА

МОЖНО НАЙТИ ПО АДРЕСУ:

NEDRA21.RU





НАЭН

НАЦИОНАЛЬНАЯ АССОЦИАЦИЯ ПО ЭКСПЕРТИЗЕ НЕДР

15 Более 15 лет экспертизы
недропользования и
содействия развитию отрасли

**Партнер государства в вопросах развития
системы государственного регулирования
недропользования**

- Разработка и внедрение отраслевых стандартов и технических требований
- Содействие привлечению инвестиций в отрасль, развитие юниорного бизнеса
- Общественный регулятор сервисного сектора



Комплексный горно-геологический аудит и консалтинг в недропользовании по российским и международным стандартам - JORK, кодексу НАЭН и др

- Аудит инвестиционной привлекательности. Сопровождение лицензирования.
- Защита прав и законных интересов недропользователей и сервисных компаний, проведение экспертиз результатов и качества выполняемых сервисными компаниями работ



**Образовательная
деятельность**

- Научно-исследовательская работа (в т.ч. оценка ресурсного потенциала и значимости лицензионного участка перед возвратом его государству, оценка адекватности применяемой методики ГРР реальной геологии лицензионного участка, региона)
- Развитие профессионального экспертного сообщества и международных связей



**Издательская
деятельность**

- Внедрение инноваций (в т.ч. обсуждение в дискуссионном клубе журнала "Недропользование XXI век" инновационных методов, методик, способов, технологий, перед представлением их на ЭТС "ГКЗ", поиск партнеров для апробации и внедрения в производство инновационных методов, методик, способов, технологий)