

ОТЕЧЕСТВЕННАЯ ГЕОЛОГИЯ

№ 2 / 2024

Основан в марте 1933 года

Журнал выходит шесть раз в год

УЧРЕДИТЕЛИ



Министерство природных ресурсов и экологии
Российской Федерации



Российское геологическое общество



Центральный научно-исследовательский
геологоразведочный институт
цветных и благородных металлов

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор:
А.И.Иванов

Е.А.Наумов (зам. главного редактора),
Н.В.Милетенко (зам. главного редактора),
Т.М.Папеско (зам. главного редактора),

Е.М.Аксенов, А.Н.Барышев, А.И.Варламов,
С.С.Вартанян, В.Д.Конкин, А.А.Кременецкий,
С.Г.Кряжев, М.И.Логвинов, Г.А.Машковцев,
И.Ф.Мигачёв, А.И.Черных, А.Ю.Розанов,
Г.В.Седельникова, И.Г.Спиридонов,
В.И.Старостин, Е.Г.Фаррахов, Г.К.Хачатрян

Содержание

ОРГАНИЗАЦИЯ, УПРАВЛЕНИЕ, ЭКОНОМИКА, НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЕ

Гермаханов А. А.

Основные результаты геологоразведочных работ на твёрдые полезные ископаемые в 2023 г. и задачи на 2024 г. 3

Алексеев Я. В., Корчагина Д. А., Куликов Д. А., Наумов Е. А., Конкин В. Д., Мигачёв И. Ф., Донец А. И., Барышев А. Н.

Особенности освоения, воспроизводства и прогноз развития по 2040 г. сырьевой базы свинца и цинка России 19

МЕСТОРОЖДЕНИЯ РУДНЫХ И НЕРУДНЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Ладный О. С.

Геолого-структурная позиция и генезис золоторудного месторождения Совиное (Чукотка) 38

Чугуевская Э. А.

Методические аспекты и ограничения использования химического состава хромшпинелидов при прогнозе и поисках месторождений алмаза (на примере бассейна р. Алымджа, Якутия) 55

ХРОНИКА, ИНФОРМАЦИЯ

Сагалевиц А. М.

Исследование озера Байкал с применением глубоководных обитаемых аппаратов 66

ПАМЯТНЫЕ ДАТЫ

Памяти исследователя рудных месторождений Юрия Ивановича Новожилова 75

Редакция: *Т. М. Папеско, А. П. Фунтикова*
Компьютерная верстка: *А. Д. Юргина*

Решением Высшей аттестационной комиссии Министерства образования науки Российской Федерации журнал включён в «Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание учёной степени доктора и кандидата наук»

Свидетельство о регистрации в средствах массовой информации
№ 01217 от 03 июня 1992 г.

Подписано в печать 15.05.2024

Адрес редакции: 117545, г. Москва, Варшавское шоссе, д. 129, корп. 1
Телефон: (495) 315-28-47. Факс: (495) 315-43-47. E-mail: ogeo@tsnigri.ru

Сайт: http://tsnigri.ru/o_geology

Сайт электронной библиотеки: <http://elibrary.ru>

Типография ФГБУ «ЦНИГРИ»

Основные результаты геологоразведочных работ на твёрдые полезные ископаемые в 2023 г. и задачи на 2024 г.

Проведён анализ результатов геологоразведочных работ на твёрдые полезные ископаемые, выполненных в 2023 г. на территории Российской Федерации как за счёт средств федерального бюджета, так и за счёт средств недропользователей. Определены задачи на 2024 г.

Ключевые слова: минерально-сырьевая база, лицензирование, недра, прирост запасов, твёрдые полезные ископаемые.

ГЕРМАХАНОВ АСЛАМБЕК АСХАТОВИЧ, заместитель руководителя Федерального агентства по недропользованию

Федеральное агентство по недропользованию (Роснедра), г. Москва

The principal results of geological exploration for solid mineral resources in 2023 and the planned activities for 2024

A. A. GERMANANOV

The Federal Subsoil Resources Management Agency, Moscow

Analysis is performed for the results of geological exploration for solid minerals in the Russian Federation in 2023, funded by both the federal sources and miners. The activities for 2024 are planned.

Key words: mineral base, licensing, subsoil resources, reserves growth, solid minerals.

По запасам ряда твёрдых полезных ископаемых (ТПИ) Российская Федерация занимает ведущие места в мире (рис. 1). Приведённые на этом рисунке данные дают отчётливое представление о тех полезных ископаемых, добыча которых надёжно обеспечивает нашу национальную безопасность на Мировом рынке сырья (золото, медь, МПГ, никель и др.). В то же время выделяется группа остродефицитных, импортозависимых ТПИ, недостаточная добыча которых ставит под угрозу национальную минерально-сырьевую безопасность (титан, вольфрам, литий и др.).

В 2023 г. геологоразведочные работы (ГРР) на твёрдые полезные ископаемые за счёт средств федерального бюджета (суша) выполнялись на территориях всех федеральных округов РФ. При этом ГРР осуществлялись в основном в Дальневосточном и Сибирском федеральных округах. Основной исполнитель – АО «Росгеология»; работы на отдельных объектах выполнялись АО «Алроса» ПАО, АО «Чеченнефтехимпром», АО «УГСЭ».

Геологоразведочные работы 2023 г. проводились на 24 завершающихся, на 34 переходящих

объектах, из которых по 42 объектам финансирование проводилось в рамках программы ВИПР, а по 15 объектам – в рамках программы «Геология: возрождение легенды» (ГВЛ). Кроме того, в середине 2023 г. были начаты работы на 10 новых объектах в рамках программы ВИПР (рис. 2). Общее финансирование геологоразведочных работ 2023 г. составило 4772 млн руб.

Работы 2023 г. в основном были направлены на высоколиквидные стратегические полезные ископаемые – благородные и цветные металлы, доля которых в общем объёме финансирования 2023 г. составила 66%.

Всего по Госконтрактам в 2023 г. работы завершились по 24 объектам ГРР на АБЦМ, в том числе по золоту – 14, по цветным металлам – 7, по урану, сурьме и светложгущимся глинам – по 1 объекту (см. рис. 2).

Распределение финансирования ГРР в 2023 г. по видам ТПИ, в том числе по федеральным округам, отражено на рисунке (рис. 3).

Как уже отмечено, геологоразведочные работы были сосредоточены преимущественно в Сибирском и Дальневосточном округах, включая

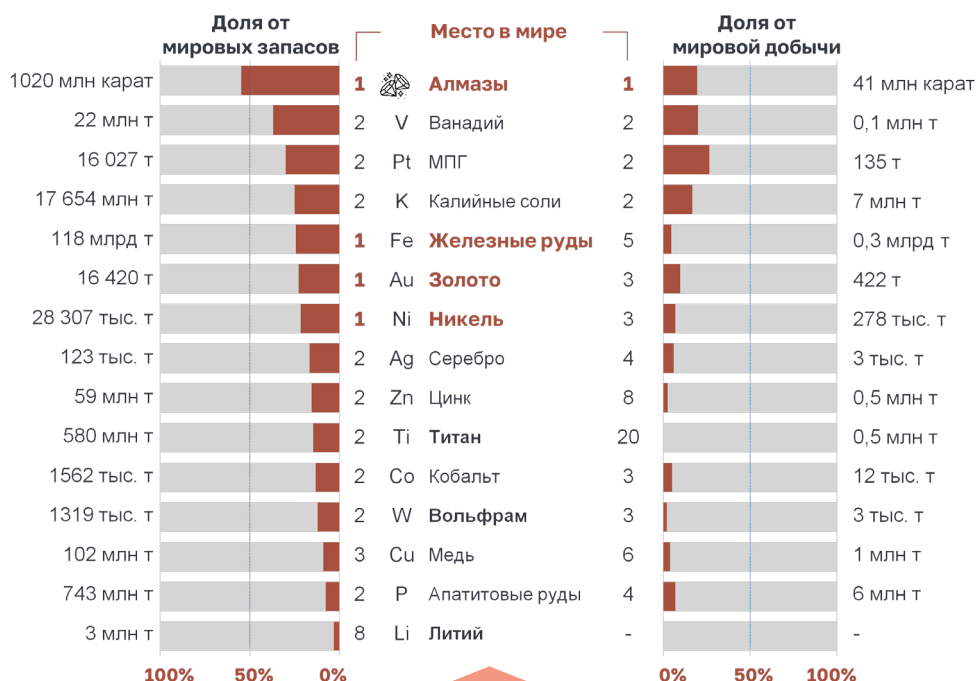


Рис. 1. Положение РФ в запасах и добыче ведущих видов ТПИ (по данным за 2022 г.)

территорию Арктической зоны (АЗРФ) в их пределах. Доля бюджетных ассигнований, приходящихся на объекты АЗРФ, в общем объёме финансирования 2023 г. составила 20%.

Все объекты ГРР, планируемые к завершению в 2023 г., завершены в установленные сроки.

Результаты анализа итогов выполнения задач по локализации и оценке прогнозных ресурсов ТПИ на объектах Госзаказа в 2023 г. отражены на рис. 4.

Наиболее значимые из них получены на следующих объектах: золото – Рэдергинская площадь (Республика Саха (Якутия)), Шилгонское рудное поле (Республика Саха (Якутия)), Западно-Режевская площадь (Свердловская область) и Байкомская площадь (Республика Северная Осетия (Алания)). Для данных объектов отмечается превышение по отдельным категориям апробированных прогнозных ресурсов над прогнозными ресурсами, предусмотренными Т(Г)З.

По цветным металлам в целом отмечается низкая результативность завершившихся в 2023 г. ГРР – по всем объектам, кроме Верхнерудиковской площади (Красноярский край).

По титану и урану не выполнено задание по локализации прогнозных ресурсов по категории P_1 , а по сурьме – незначительный их прирост.

По результатам завершившихся ГРР на огнеупорные и тугоплавкие глины (Милославская площадь (Рязанская область)) задания по локализации прогнозных ресурсов по категориям P_1 и P_2 значительно перевыполнены. На ней выявлены залежи глин светложгущихся, тугоплавких и огнеупорных на трёх участках (рис. 5), апробированы прогнозные ресурсы категории P_2 в количестве – 31,1 млн т и P_1 – 70,97 млн т; по категории P_1 выполнение составило около 470%, а по категории P_2 – 120%. Областью применения глин может быть производство широкого диапазона керамических изделий. Объект подготовлен для лицензирования и постановки оценочных работ.

На Западно-Режевской площади по результатам завершённых в 2023 г. поисковых работ локализована серия рудных тел золото-сульфидно-кварцевого типа и золотоносные коры выветривания (рис. 6). В результате оценены и апробированы прогнозные ресурсы золота кат. P_1 – 24,65 т и кат. P_2 – 38,75 т. Разработана комбинированная гравитационно-цианистая технология извлечения золота из первичных и окисленных руд (извлечение > 91%), которая повышает инвестиционную привлекательность объекта. Апробированные прогнозные ресурсы золота позволяют ожидать выявления среднего по масштабам месторождения

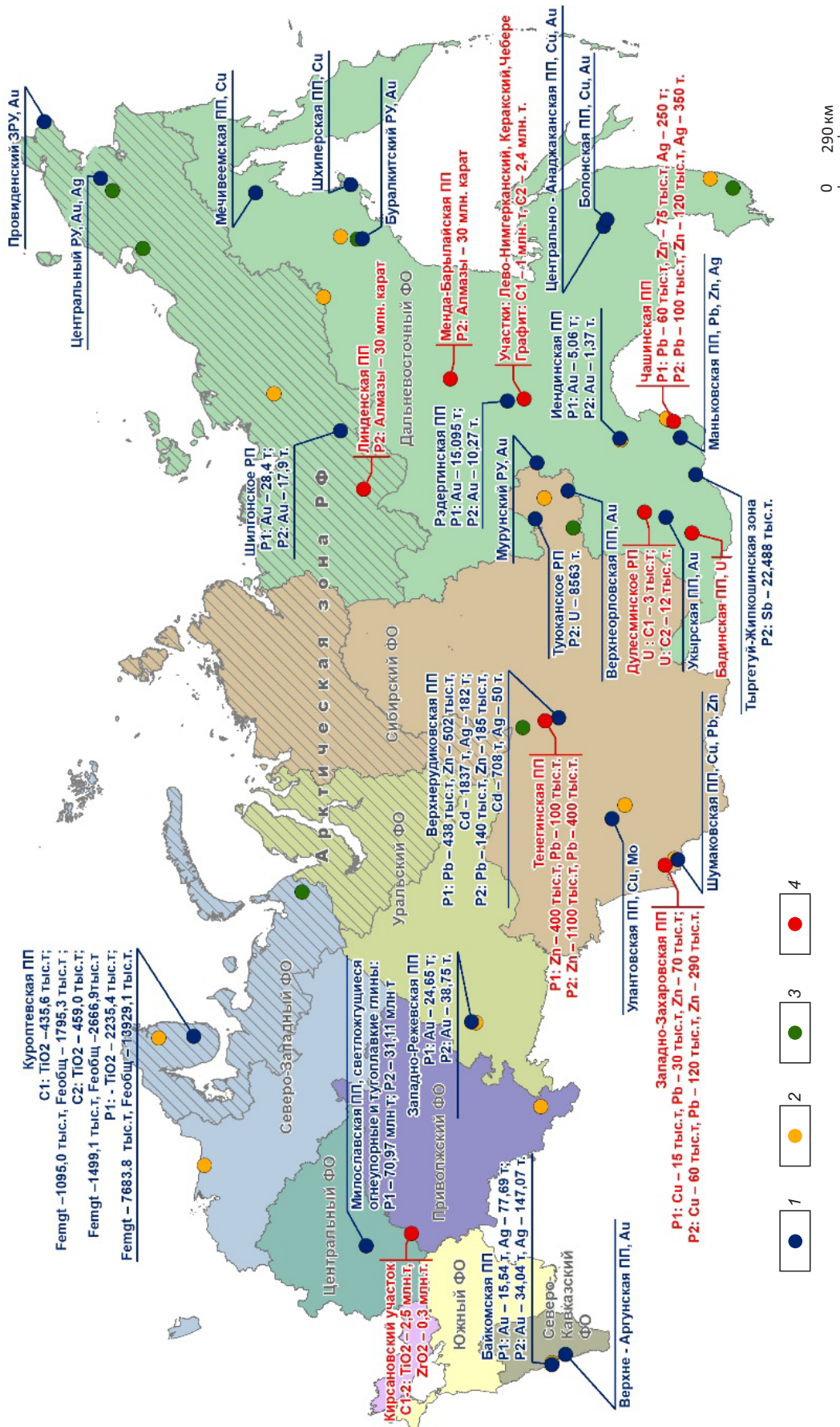


Рис. 2. Завершенные в 2023 г., переходящие и новые объекты 2024 г. геологического изучения недр за счёт средств федерального бюджета: объекты: 1 – завершенные в 2023 г. (24 объекта), 2 – действующие ВИПР, переходящие на 2024 г. (7 объектов), 4 – новые, 2024 г. (9 объектов)

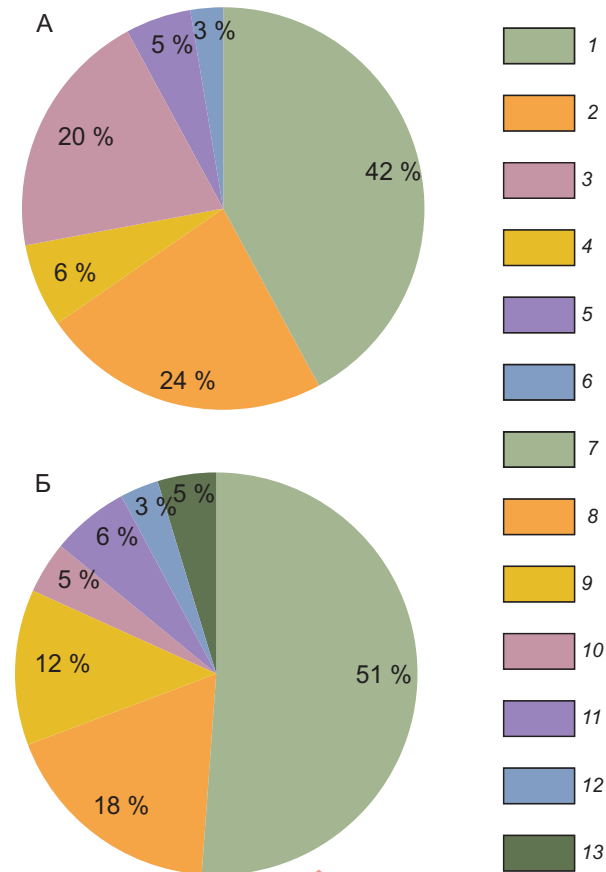


Рис. 3. Структура затрат на проведение ГРП в 2023 г.:

А – по видам ТПИ: 1–3 – металлы: 1 – благородные, 2 – цветные и 3 – чёрные; 4 – неметаллические полезные ископаемые; 5 – уран; 6 – угли; Б – по федеральным округам: 7–13 – федеральные округа: 7 – Дальневосточный, 8 – Сибирский, 9 – Северо-Западный, 10 – Приволжский, 11 – Уральский, 12 – Центральный, 13 – Северо-Кавказский

рудного золота. Объект перспективен для дальнейших оценочных работ за счёт разных источников финансирования.

В Красноярском крае, в старейшем Ангарском полиметаллическом рудном районе по результа-

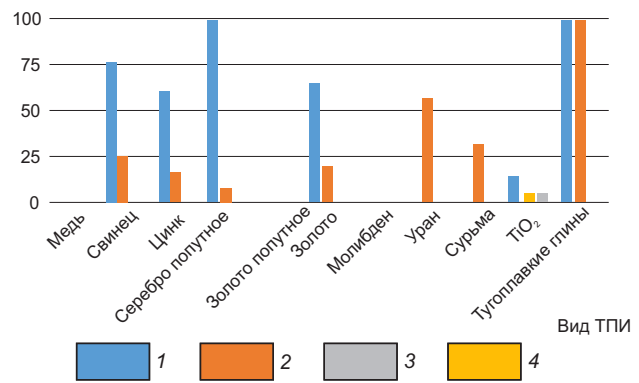


Рис. 4. Результаты выполнения геологического задания по оценке прогнозных ресурсов (в %) по видам ТПИ по Госконтрактам, завершённым в 2023 г.:

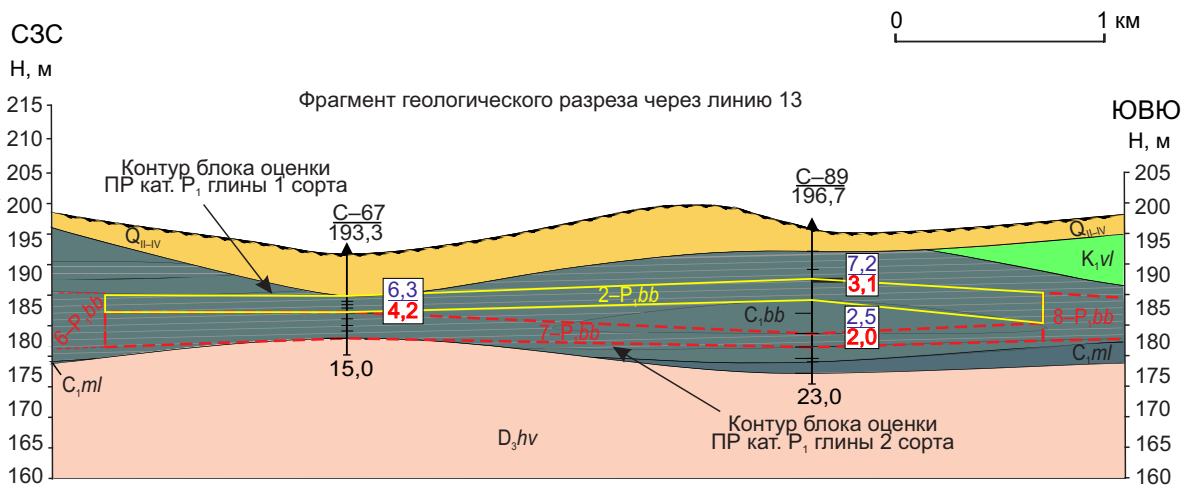
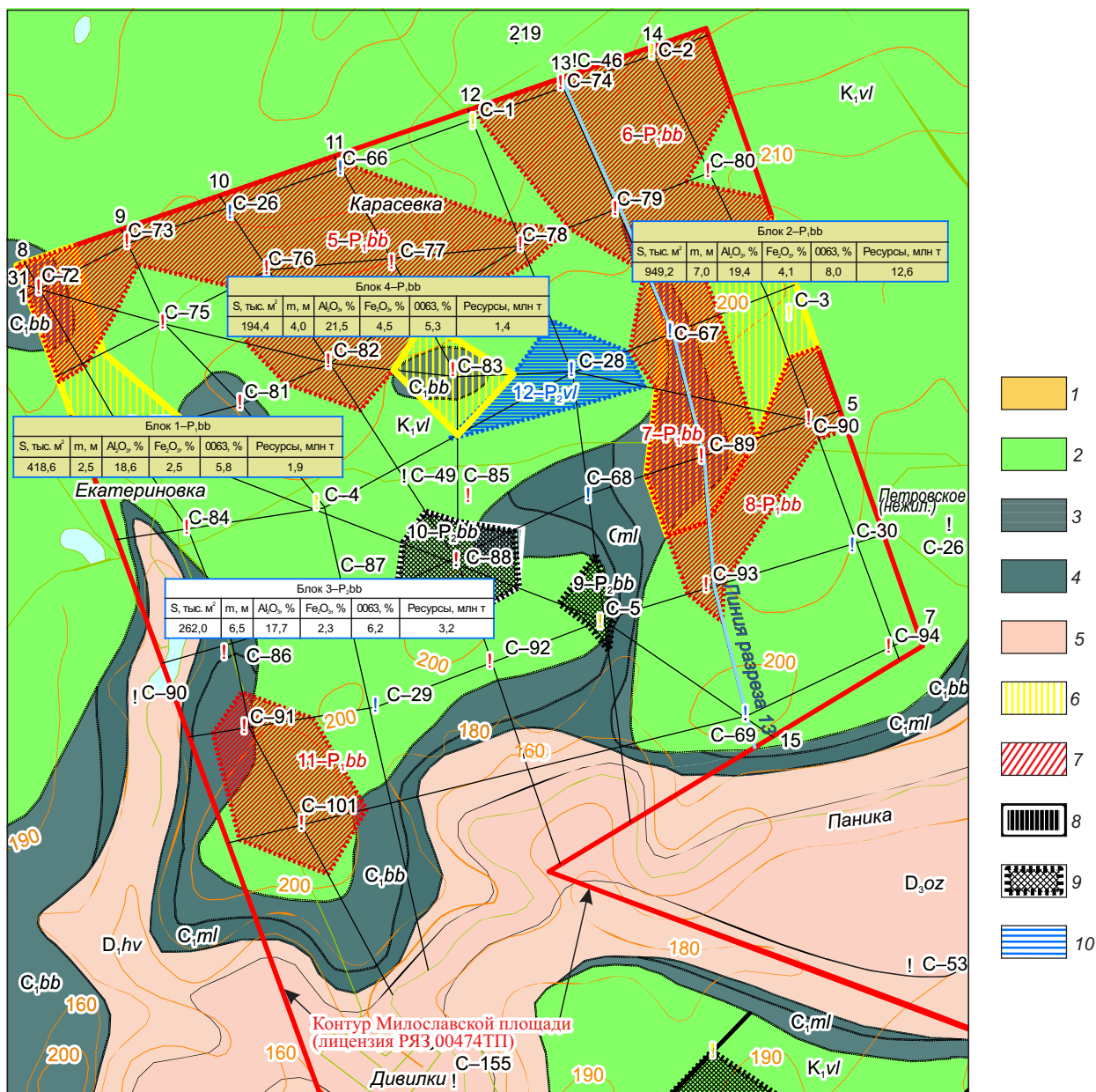
категории: 1 – P₁, 2 – P₂, 3 – C₁, 4 – C₂

там геологоразведочных работ на участках Крутом и Северо-Восточном **Верхнерудиковской площади** локализованы протяжённые и мощные зоны полиметаллического (свинцово-цинкового с попутным серебром и кадмием) оруденения, в пределах которых оконтурен ряд рудных тел мощностью от 2 до 26 м с промышленными параметрами (рис. 7). Апробированные прогноз-ные ресурсы кат. P₁: Zn – 488 тыс. т, Pb – 423 тыс. т, Ag – 165 т; кат. P₂: Zn – 185 тыс. т, Pb – 140 тыс. т, Ag – 50 т. Их геолого-экономическая оценка по укрупнённым показателям демонстрирует рентабельность освоения данного рудного объекта, который по масштабам отвечает среднему полиметаллическому месторождению. Полученные данные свидетельствуют о целесообразности постановки детализационных геологоразведочных работ оценочной стадии.

В Республике Саха (Якутия) в экономически дотационных Верхоянском и Эвено-Бытантайском районах Западно-Верхоянского геолого-

Рис. 5. Фрагмент геологической карты и разреза по линии 13 Милославской площади с контурами блоков подсчёта прогнозных ресурсов глин категорий P₁ и P₂:

1 – четвертичные образования, Q_{III-IV}; 2 – Валанжинская серия, K₁vI (кварцевые песчаники и алевролиты с прослоями белых глин); 3 – Бобриковская свита, C₁bb (пески кварцевые, глинистые слоистые алевролиты с прослоями бурых углей); 4 – Малевская свита, C₁ml (глины известковистые с прослоями известняков); 5 – Хованская свита, D₁hv (известняки мергелистые органогенные с прослоями глин); контуры блоков прогнозных ресурсов глин категорий: 6–7 – P₁: 6 – глины 1 сорта (нижний карбон), 7 – глины 2 сорта (нижний карбон), 8–10 – P₂: 8 – глины 1 сорта (нижний карбон), 9 – глины 2 сорта (нижний карбон), 10 – глины 2 сорта красножгущиеся (нижний мел)



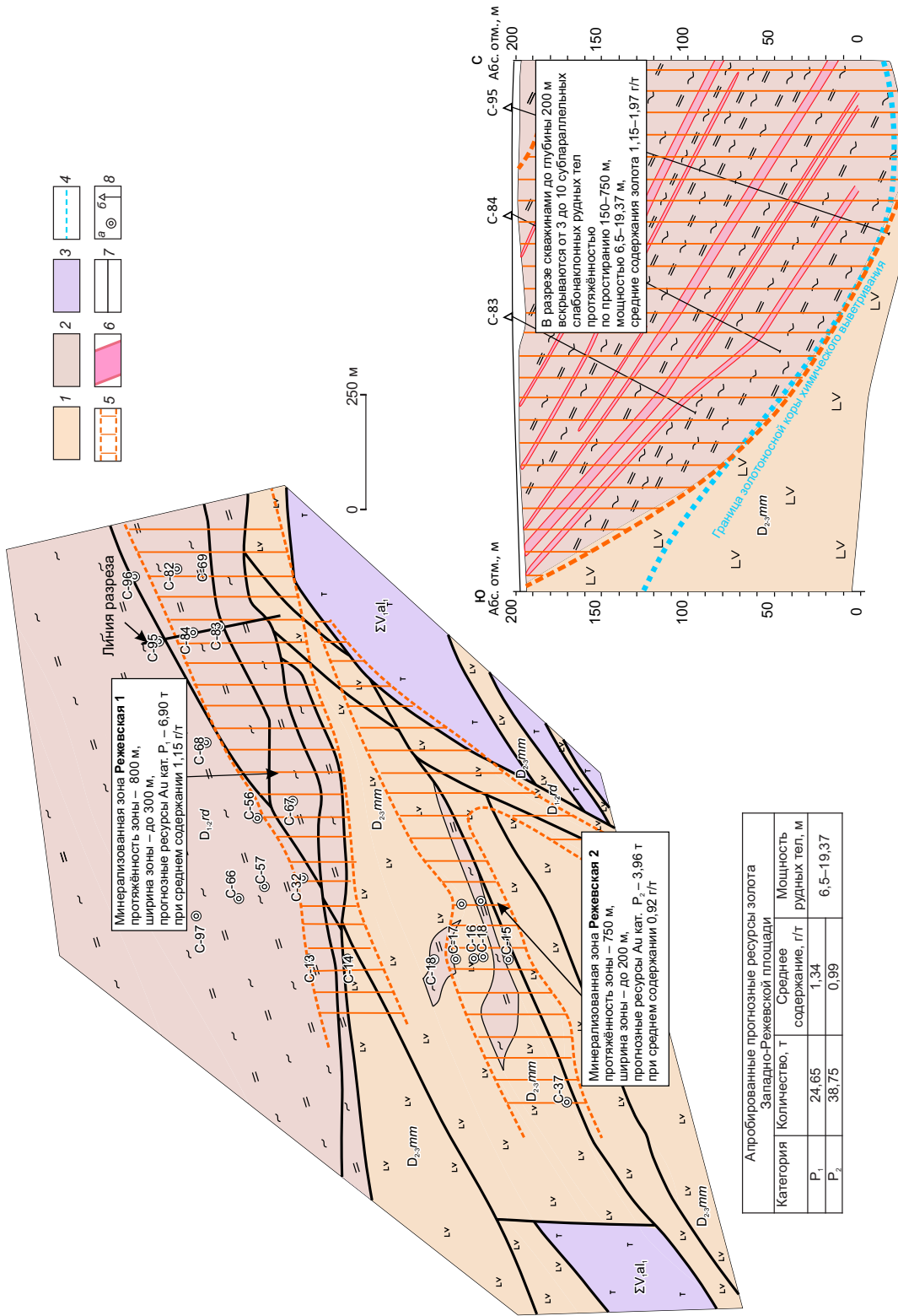


Рис. 6. Положение золотоносных минерализованных зон в плане и рудных тел в разрезе участка рудоуправление Режевское. Западно-Режевская площадь:
 1 – туфы смешанного состава, D₂₋₃mm; 2 – углеродсодержащие алевролиты (рудянская толща), D₁₋₂rd; 3 – серпентинизированные дуниты, гарцбургиты, серпентиниты (алапаевский комплекс, первая фаза); 4 – граница золотоносной коры химического выветривания; 5 – минерализованные зоны; 6 – рудные тела; 7 – разрывные нарушения; 8 – скважины поискового бурения; а – в плане, б – на разрезе

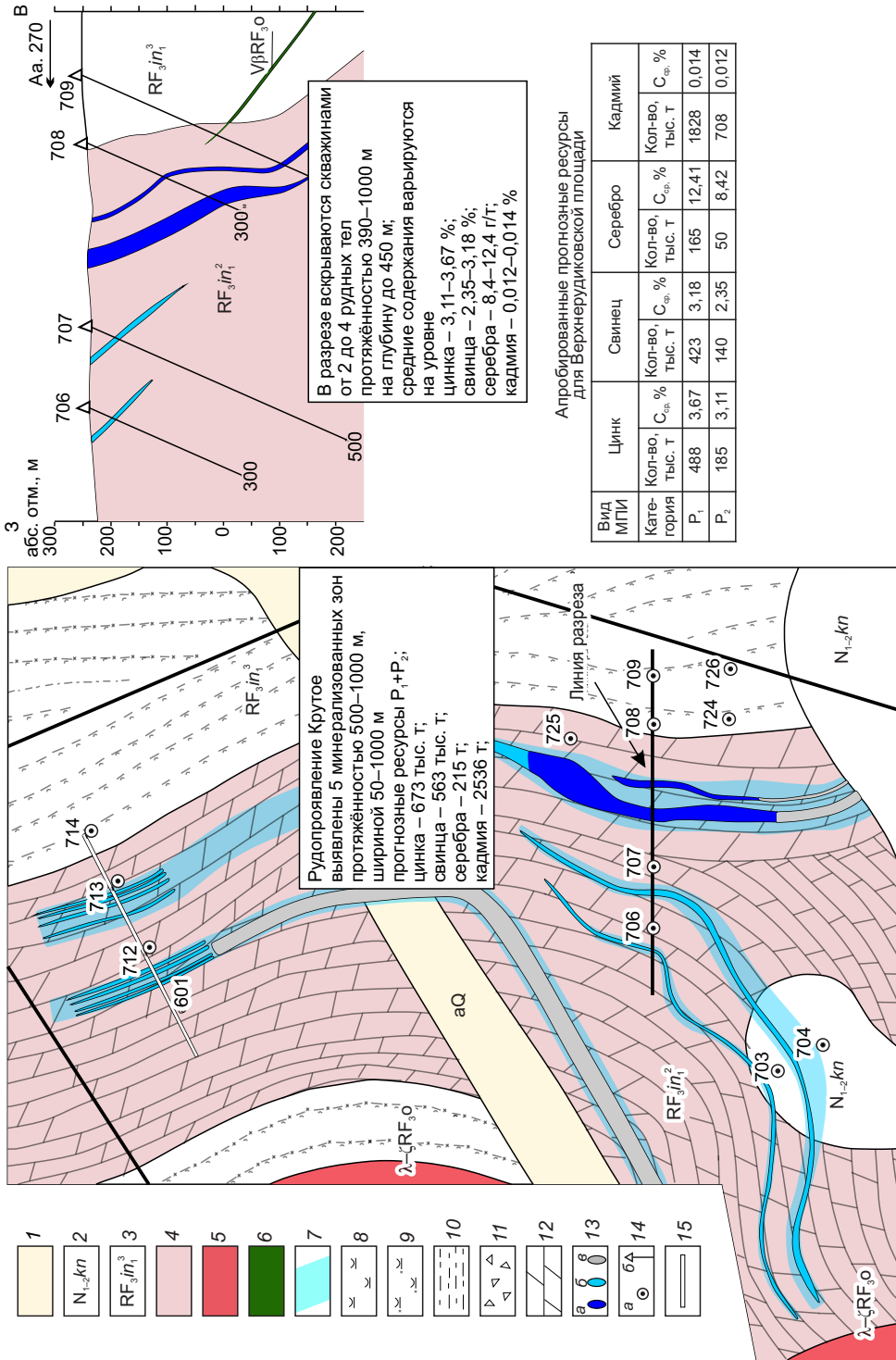


Рис. 7. Положение минерализованных зон и рудных тел в плане и на разрезе. Рудопроявление Крутое (Верхнерудниковская площадь):

1 – галечники, пески, валунники, гравийники, глины (современные отложения поймы, голоцен, аQ); 2 – пески, глины, галечники, железистые конгломераты (кирпашевская свита, неоген, $N_{1-2}kn$); 3 – иончихинская толща третья пачка, RF_3in^3 ; 4 – иончихинская толща вторая пачка, RF_3in^2 ; 5 – субвулканические штоки метаморфизованных риолитов, риодацитов, дацитов (орловский комплекс, $\lambda-(RF_3o)$); 6 – субвулканические штоки габродолеритов (орловский комплекс); 7 – минерализованные зоны (содержание Pb и Zn – 0,2–0,8 %), $v\beta RF_3o$; 8 – сланцы серицитозные (метапелиты); 9 – сланцы хлорит-серицитозные (метапелиты); 10 – прослои метаалевролитов; 11 – брекчии доломитового состава; 12 – доломиты, доломитизированные известняки; 13 – тела первичных свинцово-цинковых руд; а – выделенные по содержанию условного цинка 3 %, б – выделенные по содержанию условного цинка > 1 %, но меньше 3 %, в – предполагаемые; 14 – скважины поискового бурения; а – в плане, б – на разрезе; 15 – поисковые каналы и их номера

экономического района в ходе ГРП в пределах Шилгонской площади на рудопроявлении Шилгон выявлены промышленно значимые инвестиционно привлекательные рудные тела жильно-прожилково-вкрапленного золото-сульфидного типа, локализованные в протяжённых крутопадающих минерализованных зонах, пригодные для переработки на золотоизвлекательной фабрике по сорбционно-цианистой технологии (рис. 8). Апробированные прогнозные ресурсы золота кат. P_1 – 28,4 т, кат. P_2 – 17,9 т. Углублённая геолого-экономическая оценка показала экономическую эффективность отработки апробированных для рудопроявления Шилгон прогнозных ресурсов золота, отвечающих среднему по масштабу ме-

сторождению. Объект перспективен для дальнейших оценочных и разведочных работ.

В 2023 г. продолжались работы по выполнению федерального проекта «Геология: возрождение легенды». Они были начаты в 2022 г., рассчитаны на период 2022–2024 гг. с ежегодным финансированием 1,4 млрд руб. На рис. 9 отражено размещение объектов на территории РФ, виды ТПИ и ожидаемые по итогам ГРП приросты прогнозных ресурсов и запасов. Необходимо отметить, что по завершению второго года работ на всех 15 объектах своевременно выполнены предусмотренные на этот период ГРП и получены предварительные результаты, которые в целом позволяют рассчитывать на получение ожидаемых

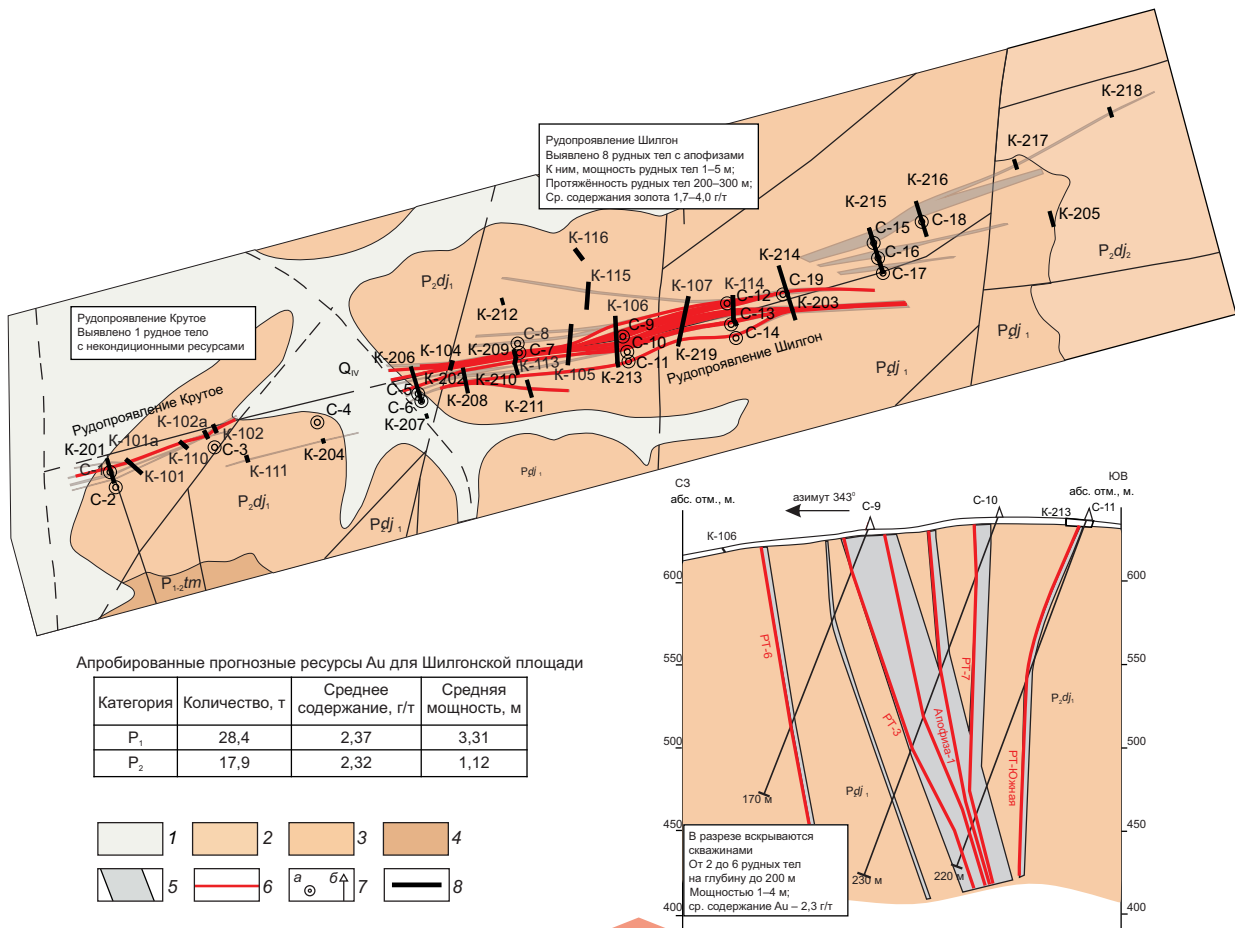


Рис. 8. Шилгонская площадь. Положение золотоносных минерализованных зон и рудных тел в плане (рудопроявления Шилгон и Крутое) и в разрезе (рудопроявление Шилгон):

1 – тумаринская свита, Q_{IV} (песчаники, алевролиты, аргиллиты); 2–3 – дулгалахская свита: 2 – нижняя подсвита, P_2dj_2 (алевролиты, аргиллиты, песчаники), 3 – верхняя подсвита, P_2dj_1 (песчаники, алевролиты); 4 – галечники, пески, валунники, гравийники, глины, $P_{1-2}tm$ (современные отложения поймы, голоцен); 5 – минерализованные зоны дробления, брекчирования, прожилкования; 6 – рудные тела и их номера; 7 – скважины поискового бурения: а – в плане, б – на разрезе; 8 – поисковые каналы и их номера

1,4 млрд руб. ежегодно

Ожидаемые приросты

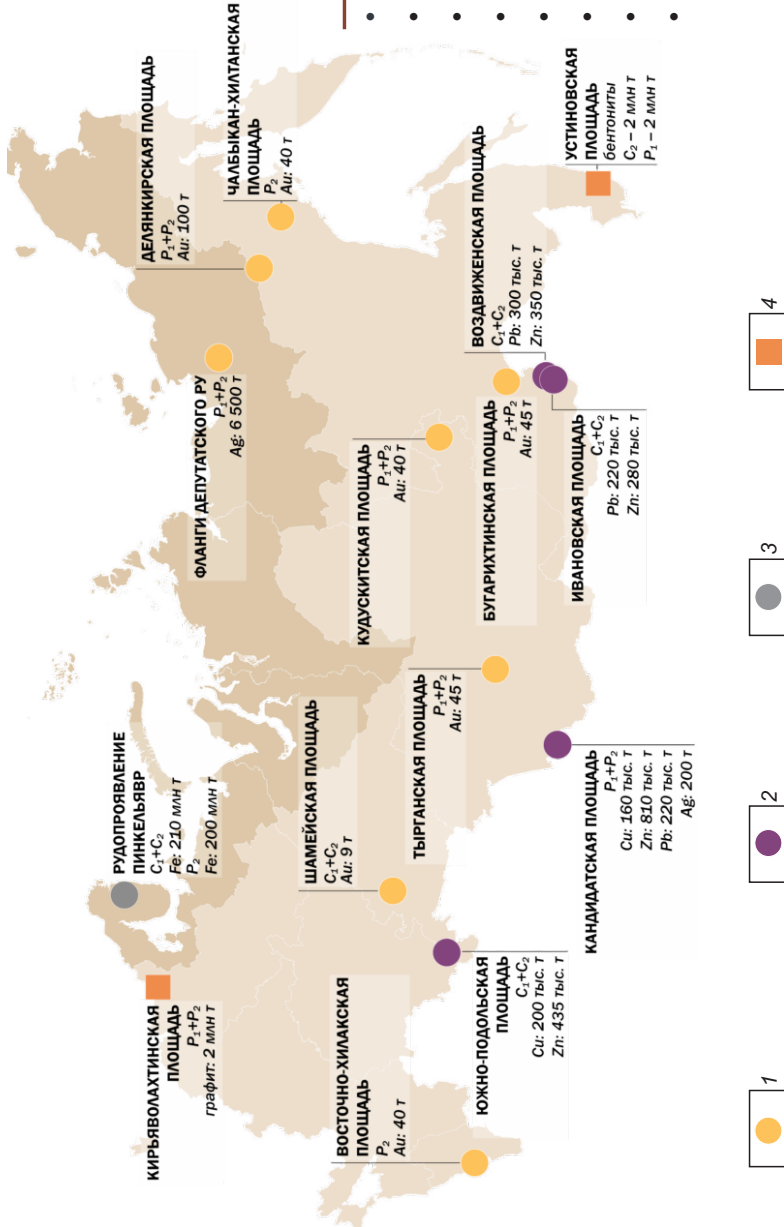


Рис. 9. Объекты геологического изучения недр ФП «Геология: возрождение легенды»: металлы: 1 – благородные, 2 – цветные, 3 – чёрные; 4 – неметаллические ПИ

Российские разведочные районы в Мировом океане
Контрактеры – Минприроды России (КМК и ГПС), АО «Южморгеология» (ЖМК)



Рис. 10. Геологическое изучение и оценка ресурсов ТПИ дна Мирового океана. Финансирование 2023 г. и планируемое на 2024 г.

прогнозных ресурсов. В том числе это относится к объектам оценочных работ, проводимых в пределах Ивановской (Pb + Zn), Южно-Подольской (Cu + Zn), Шамейской (Au), Пинкельявр (Ti) площадей.

На 2024 г. в соответствии с утверждённым Перечнем ГРР Роснедра продолжают работы на 34 объектах ГРР; часть из них финансируется в рамках КПМ ГП «ВИПР» (17 объектов) и часть – в рамках ФП «Геология. Возрождение легенды» (15 объектов).

К постановке ГРР в 2024 г. в рамках ГП ВИПР начаты работы на 10 объектах (см. рис. 2) с общим объёмом бюджетного финансирования 3,18 млрд руб., в том числе 0,6 млрд руб. предусмотрено на проведение работ в Арктической зоне и 2,2 млрд руб. – на территории ДВФО.

Одним из важнейших, но всё-таки обособленных направлений геологоразведочных работ, выполняемых за счёт федерального бюджета, является исполнение обязательств с МОМД по изучению полезных ископаемых дна Мирового океана (Срединно-Атлантический хребет, Магеллановы горы, рудная провинция Кларифон-Клиппертон). Эти работы направлены на изучение и оценку кобальтоносных железомарганцевых корок (КМК), железомарганцевых конкреций (ЖМК), глубоководных полиметаллических сульфидов (ГПС).

Общее финансирование работ 2023 г. составило 1,2 млрд рублей. Полученные результаты 2023 г.

и планы финансирования ГРР и ожидаемые результаты 2024 г. отражены на рисунке (рис. 10).

Необходимо отметить, что в 2023 г., как обычно, значительные ГРР по воспроизводству минерально-сырьевой базы ТПИ выполнялись недропользователями. При этом уже в течение ряда лет сохраняется положительная тенденция роста финансирования ГРР недропользователями, прежде всего на благородные металлы.

По предварительным данным по результатам геологоразведочных работ за счёт средств недропользователей в 2023 г. впервые на Государственный баланс были поставлены запасы 168 месторождений твёрдых полезных ископаемых (рис. 11), в том числе:

- золото – 142 (из них россыпные – 132);
 - цветные металлы (*медь и цинк*) – 4;
 - алмазы (россыпные) – 2;
 - серебро – 1;
 - платиноиды (россыпные) – 1;
 - уголь – 2;
 - титан – 1;
 - неметаллические полезные ископаемые – 15.
- Наиболее значимыми открытиями являются:
- Совиное золоторудное месторождение (Чукотский АО) – 86,1 т золота и 28,5 т серебра;
 - Новопетровское медно-цинковое месторождение (Республика Башкортостан) – 376,9 тыс. т цинка, 184,8 тыс. т меди, 36,5 т золота и 386,7 т серебра;

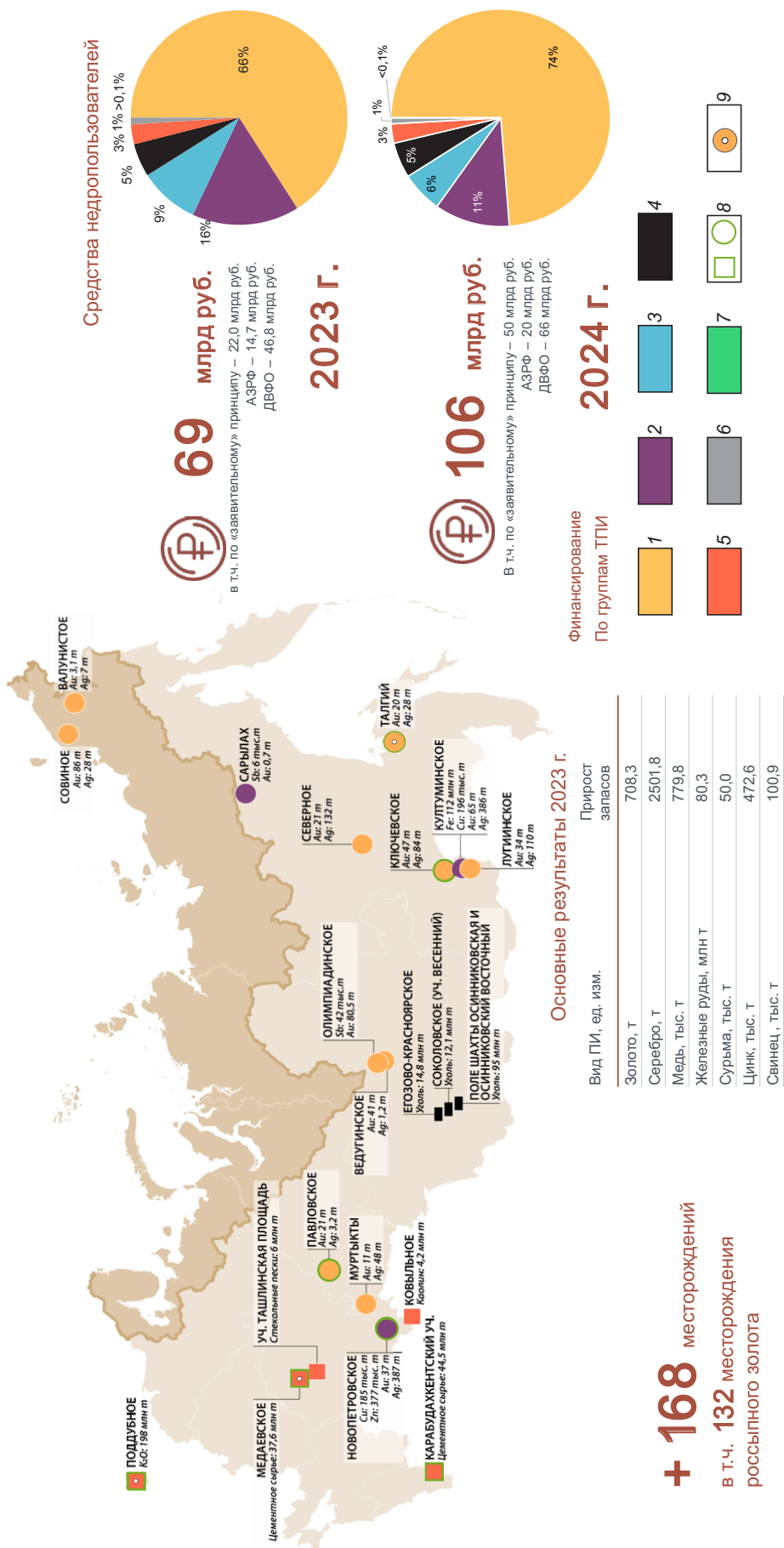


Рис. 11. Наиболее значимые результаты ГРР за счёт средств недропользователей в 2023 г. и планы на 2024 г.:

металлы: 1 – благородные, 2 – цветные и редкие; 3 – алмазы; 4 – угли; 5 – неметаллические ПИ; 6 – чёрные металлы; 7 – уран; месторождения: 8 – впервые поставленные, 9 – в том числе и по заявительному принципу

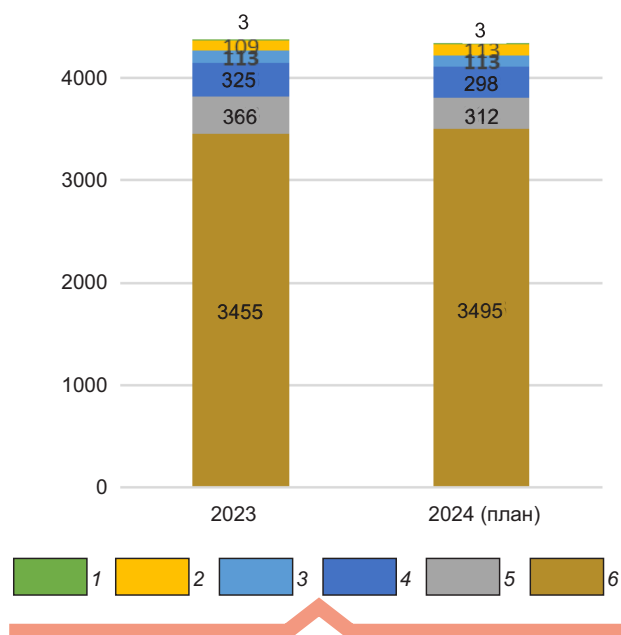


Рис. 12. Количество объектов по видам ТПИ, на которых выполнялись ГРП за счёт внебюджетных средств в 2023 г. и планируется выполнение ГРП в 2024 г.:

1 – урановое сырьё; 2 – твёрдое топливо; 3 – алмазы; 4 – неметаллы; 5 – чёрные, цветные и редкие металлы; 6 – благородные металлы

- Павловское золоторудное месторождение (Свердловская область) – 21,5 т золота и 3,2 т серебра;
- золоторудное месторождение Талгий (Хабаровский край) – 19,9 т золота и 28,5 т серебра;
- Верхнее-Золотое серебряно-медное месторождение (Приморский край) – 311,1 тыс. т меди и 693,1 т серебра;

- месторождение Америка в Мурманской области – 894,6 тыс. т титана, 18 млн т железных руд.

Более чем на 300 объектах произошли изменения запасов за счёт переоценки и доразведки, выполненных за счёт собственных средств недропользователей. Наиболее значимые приросты запасов получены по следующим месторождениям:

- Олимпиадинское золоторудное месторождение (Красноярский край) – 80,5 т золота, 42 тыс. т сурьмы;
- Култуминское скарновое месторождение (Забайкальский край) – 196,4 тыс. т меди, 64,9 т золота, 385,8 т серебра, 112,3 млн т железных руд;
- Поле Осинового месторождения (Кемеровская область) – 95,4 млн т угля.

На начало 2023 г., по данным Департаментов по недропользованию в федеральных округах, в России на ТПИ действовали почти 11,3 тыс. лицензий, а на начало 2024 г. – 11,7 тыс. лицензий (+3%). Геологоразведочные работы на ТПИ за счёт средств недропользователей на территории России в 2023 г. проводились на 4371 объекте, в том числе: на благородные металлы – 79% от их общего количества, на чёрные, цветные, радиоактивные и редкие металлы – 8%, неметаллы – 7%; алмазы и твёрдое топливо – по 2,5% (рис. 12).

Необходимо отметить, что лицензирование в последние годы имеет положительную динамику, количество лицензий по годам составило: 2015 г. – 4784, 2017 г. – 5443, 2020 г. – 8681, 2023 г. – 11 902. При этом доля лицензий по заявительному принципу в 2023 г. приблизилась к 40% (рис. 13).

В 2024 г. планируется проведение ГРП на ТПИ за счёт внебюджетного финансирования на 4333

Действующие лицензии (по состоянию на конец года)

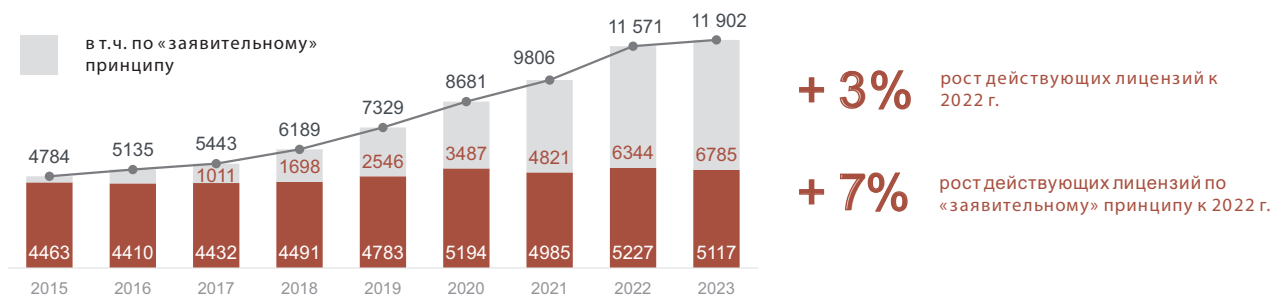


Рис. 13. Динамика лицензирования объектов ТПИ за период 2015–2023 гг. (в т. ч. по «заявительному» принципу)

объектах, из которых около 81 % приходится на благородные металлы и алмазы.

Почти 40 % всех лицензий, на которых выполнялись ГРП в 2023 г., находятся на территориях Дальневосточного, 39 % – Сибирского, 8 % – Уральского, 6 % – Приволжского, 5 % – Северо-Западного федеральных округов и по 1 % – в Центральном и Южном ФО (рис. 14).

Предварительный объём финансирования ГРП за счёт средств недропользователей в 2023 г. составил 68,5 млрд руб., при запланированных 78,5 млрд руб. (согласно информационно-аналитическим материалам «Итоги работы Федерального агентства по недропользованию в 2022 году и планы на 2023 год»), что составляет 87 % от плановых показателей.

Доля алмазов, благородных и цветных металлов, по поступившим данным, составляет 89 % от всего объёма финансирования на ГРП за счёт средств недропользователей в 2023 г., из них на благородные металлы приходится 66 %, алмазы – 9 %, цветные металлы – 14 % (рис. 15).

По предварительным данным территориальных органов Роснедр, в 2024 г. недропользователи намерены выделить на проведение геологоразведочных работ 105,6 млрд руб., из них 88 % будут приходиться на алмазы, благородные и цветные металлы (рис. 16).

Приоритетные направления ГРП Федерального агентства по недропользованию на 2024 г. и на перспективу определены перечнем поручений Президента Российской Федерации от 28.06.2022 № Пр-1130, нацеленных на разработку мер по снижению зависимости отечественной промышленности от импорта дефицитных видов минерального сырья.

Распоряжением Правительства Российской Федерации (30 августа 2022 г. № 2473) определён перечень из 17 дефицитных (импортозависимых) видов сырья (марганцевые руды, хромовые руды, уран, титан, цирконий, бокситы, вольфрам, молибден, ванадий, рений, литий, бериллий, ниобий, РЗМ, плавиковый шпат, графит).

В связи с этим начиная с 2023 г. работы за счёт средств федерального бюджета были переориентированы преимущественно на дефицитные стратегические виды сырья. Из десяти новых объектов ГРП 2024 г. на семи объектах будут проводиться геологоразведочные работы на уран, плавиковый шпат, хром, вольфрам, титан и марганцевые руды.

В соответствии с перечисленными документами и на основании обращения Главы Якутии А. С. Николаева о кратном увеличении федерального финансирования геологоразведки на территории региона на 10-летний период, одобренного

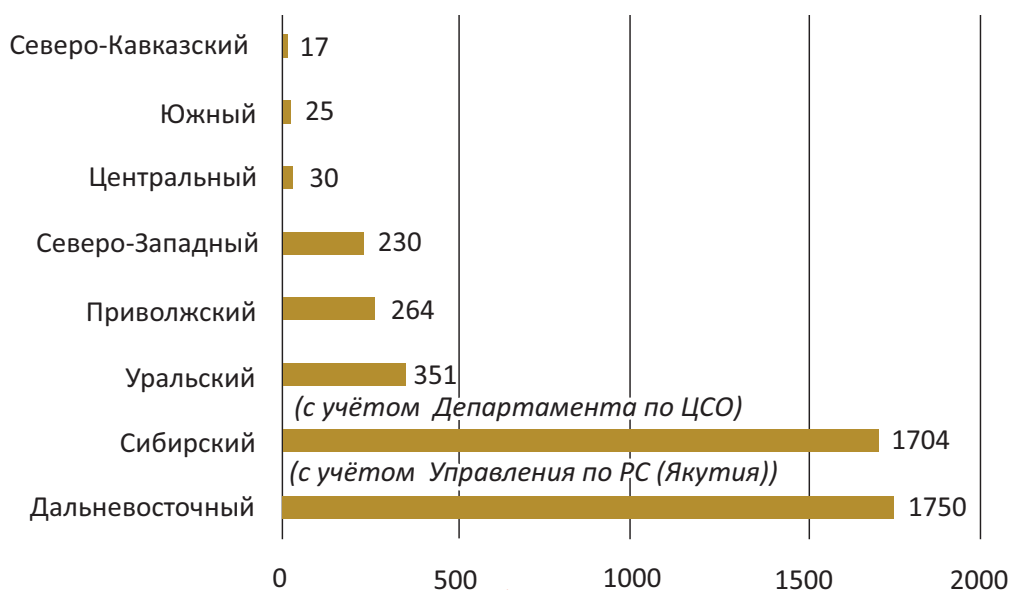


Рис. 14. Распределение действовавших в 2023 г. лицензий, предусматривавших выполнение ГРП на ТПИ за счёт средств недропользователей, по федеральным округам РФ

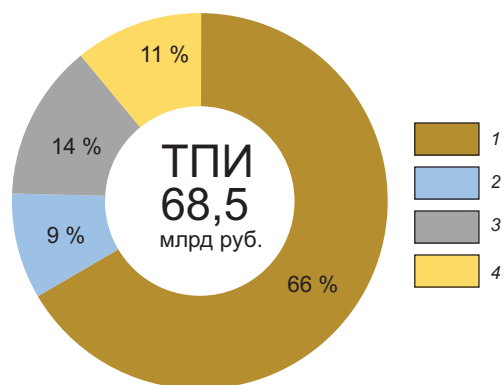


Рис. 15. Распределение объёмов финансирования ГРР за счёт средств недропользователей в 2023 г. по группам ПИ, млрд руб.:

1 – благородные металлы; 2 – алмазы; 3 – цветные металлы; 4 – прочие ПИ

поручением Президента № ПР-578 от 22 марта 2023 г., в 2023 г. началась работа по разработке новой очереди федерального проекта «Геология: возрождение легенды».

В результате длительной работы по подготовке материалов первый этап этой новой программы был представлен Президенту Российской Федерации на Восточно-экономическом форуме, по итогам которого был сформирован перечень поручений Президента РФ от 11.11.2023 № Пр-2246:

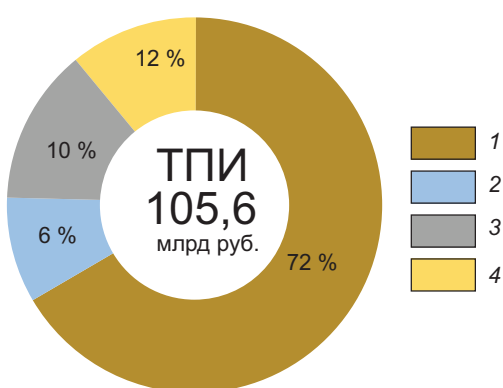


Рис. 16. Планируемый объём финансирования ГРР за счёт средств недропользователей в 2024 г. по группам ПИ, млрд руб.:

1 – благородные металлы; 2 – алмазы; 3 – цветные металлы; 4 – прочие ПИ

д) «Разработать программы геологического изучения недр на территориях Дальневосточного и Сибирского федеральных округов и включить эти программы в федеральный проект «Геология: возрождение легенды».

В соответствии с этим поручением в 2023 г. большая работа была проделана Министерством природных ресурсов и экологии Российской Федерации, Федеральным агентством по недропользованию с участием правительств регионов и отраслевых институтов по составлению проекта Программы по геологическому изучению недр территорий Дальнего Востока и Сибирского федерального округа («Геология: возрождение легенды-2»), которая в настоящее время проходит согласование в правительственных ведомствах.

Программа подготовлена с целью повышения степени геологической изученности территорий субъектов ДВФО и СФО и ускоренного воспроизводства МСБ полезных ископаемых преимущественно высоколиквидных и дефицитных стратегических видов ТПИ (рис. 17).

Реализация программы предполагается в 2 этапа в 2025–2030 гг.:

- I этап (2025–2027 гг.);
- II этап (2028–2030 гг.).

В повышении эффективности ГРР, направленных на воспроизводство МСБ ТПИ, необходимо отметить важную роль подведомственных институтов – ФГБУ «ВИМС», ФГБУ «ЦНИГРИ», ФГБУ «ИМГРЭ», ФГБУ «ВНИИОкеанология».

За последние годы, включая 2023 г., в институтах постоянно подготавливались предложения по постановке работ за счёт средств федерального бюджета. По многим выполненным ГРР были получены отличные результаты: часть из этих объектов были сразу переданы в лицензирование, а по некоторым выполнен и выполняется в настоящее время комплекс оценочных работ с подготовкой запасов категорий C_1 и C_2 – Новопетровская, Южно-Подольская, Западно-Захаровская площади, а также площадь Пинкельяр и др.

Институты выполняют следующие работы:

- методическое обеспечение геологоразведочных работ;
- апробацию прогнозных ресурсов как по результатам работ за счёт средств федерального бюджета, так и для лицензирования новых участков недр;

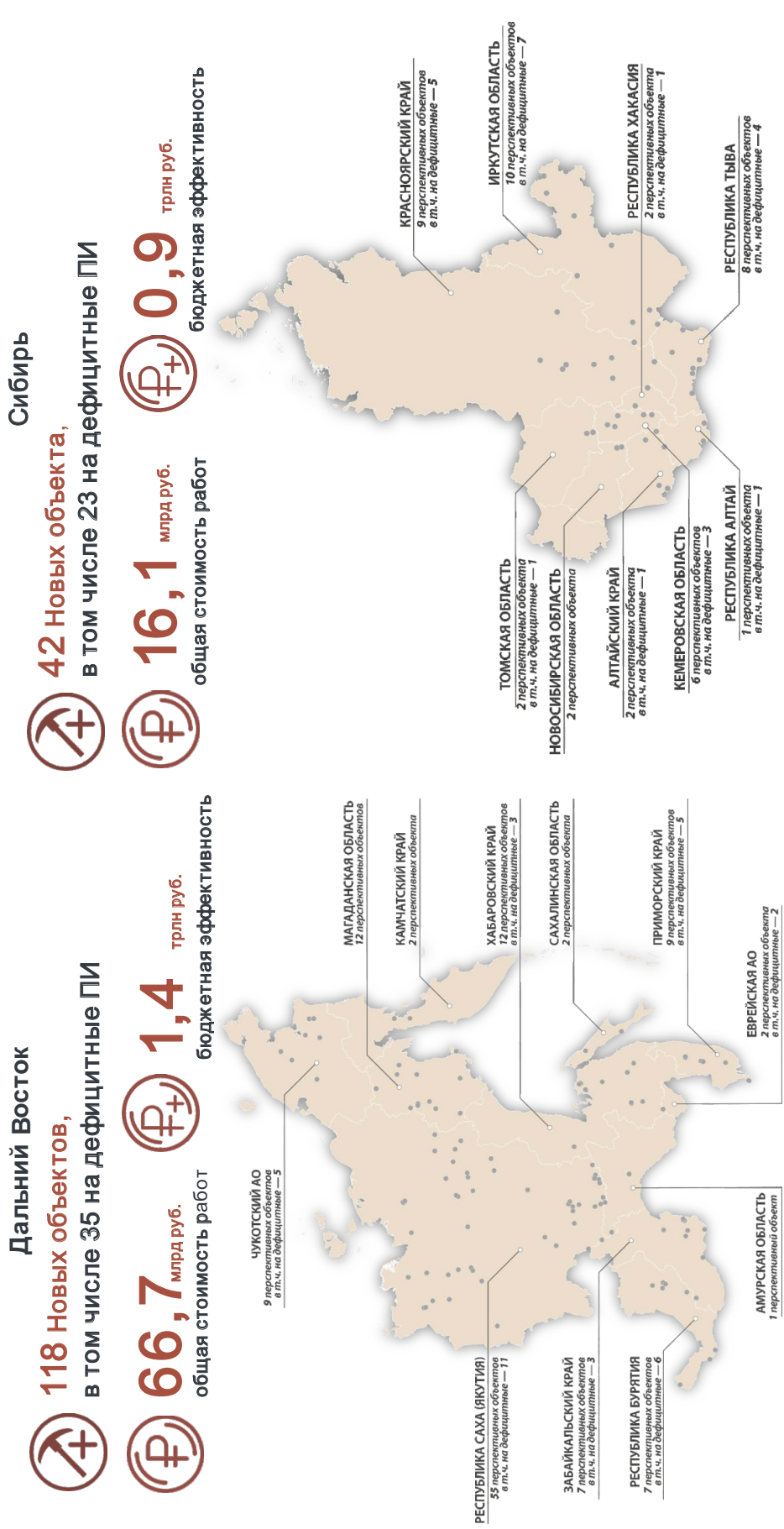


Рис. 17. Расположение объектов ГРР Проекта Программы «Геология: возрождение легенды-2» на Дальнем Востоке и Сибири

- проводят прогнозно-минералогические работы с выделением объектов для поисковых работ и лицензирования;

- апробацию и внедрение методов и методик геологоразведочных работ, технологические исследования по переработке и обогащению минерального сырья.

Эксперты институтов участвуют в подготовке программ социально-экономического развития регионов и отраслевых документов стратегического развития. Это позволяет значительно повысить качество подготавливаемых документов.

В завершение статьи необходимо ещё раз остановиться на основных итогах работы Федерального агентства по недропользованию в части твёрдых полезных ископаемых за 2023 г.:

1. Завершены работы по 24 объектам за счёт федерального бюджета (приросты прогнозных ресурсов: золота – 190 т, серебра – 290 т, свинца – 580 тыс. т, цинка – 690 тыс. т, титана – 2,2 млн т, огнеупорных глин – 100 млн т).

2. Открыты 168 месторождений за счёт недропользователей.

3. Обеспечено поступление в бюджет 12 млрд рублей за счёт лицензирования.

4. Подготовлены:

- программы геологоразведочных работ для Дальнего Востока и Сибири (Пр-2246);

- корректировка Стратегии развития минерально-сырьевой базы РФ до 2035 г. (Пр-1991).

5. Определены направления геологоразведочных работ на 2024 г.

Статья поступила в редакцию 22.04.24; одобрена после рецензирования 27.04.24; принята к публикации 02.05.24.
The article was submitted 22.04.24; approved after reviewing 27.04.24; accepted for publication 02.05.24.

По всем вопросам, связанными со статьями, следует обращаться в редакцию
по тел. +7 (495)315-43-65 доб. 227
E-mail: ogeo@tsnigri.ru

Адрес редакции: 117545, г. Москва, Варшавское шоссе, д. 129, корп. 1

Особенности освоения, воспроизводства и прогноз развития по 2040 г. сырьевой базы свинца и цинка России

Показаны состояние, структура воспроизводства сырьевой базы свинца и цинка в 1993–2022 гг. и прогноз её развития по 2040 г. Проведён анализ движения запасов и их погашения по типам месторождений. Определены риски и ограничения, влияющие на устойчивость сырьевой базы, обоснована необходимость усиления геологоразведочных работ ранних стадий за счёт средств федерального бюджета для подготовки прогнозных ресурсов и создания «поискового задела» для свинца и цинка.

Ключевые слова: минерально-сырьевая база, свинец, цинк, запасы, добыча, погашение, приросты запасов, прогноз, ресурсный потенциал.

АЛЕКСЕЕВ ЯРОСЛАВ ВЛАДИМИРОВИЧ, кандидат геолого-минералогических наук, начальник отдела, alekseev@tsnigri.ru

КОРЧАГИНА ДАРЬЯ АЛЕКСАНДРОВНА, кандидат геолого-минералогических наук, заместитель начальника отдела, korchagina@tsnigri.ru

КУЛИКОВ ДАНИЛА АЛЕКСЕЕВИЧ, кандидат геолого-минералогических наук, заместитель генерального директора по научной работе, tsnigri@tsnigri.ru

НАУМОВ ЕВГЕНИЙ АНАТОЛЬЕВИЧ, кандидат геолого-минералогических наук, первый заместитель генерального директора, tsnigri@tsnigri.ru

КОНКИН ВИКТОР ДМИТРИЕВИЧ, доктор геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник, konkin@tsnigri.ru

МИГАЧЁВ ИГОРЬ ФЁДОРОВИЧ, доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник, советник, migachev@tsnigri.ru

ДОНЕЦ АЛЕКСАНДР ИВАНОВИЧ, доктор геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник, donets@tsnigri.ru

БАРЫШЕВ АЛЕКСАНДР НИКОЛАЕВИЧ, доктор геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник, baryshev@tsnigri.ru

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Центральный научно-исследовательский геологоразведочный институт цветных и благородных металлов» (ФГБУ «ЦНИГРИ»), г. Москва

Peculiarities of the development and reproduction of the Russian lead and zinc mineral resource base and its forecasting for up to 2040

Ya. V. ALEKSEEV, D. A. KORCHAGINA, D. A. KULIKOV, E. A. NAUMOV, V. D. KONKIN, I. F. MIGACHEV, A. I. DONETS, A. N. BARYSHEV

Federal State Budgetary Institution "Central Research Institute of Geological Prospecting for Base and Precious Metals" (FSBI "TSNIGRI"), Moscow

The state and structure of reproduction of the lead and zinc mineral resource base are shown for the period of 1993–2022, and a forecast of its development for up to 2040 is presented. The mineral reserves movement and redemption were analyzed with account made for the mineral deposit types. The risks and limitations were identified that affected the mineral resource base sustainability. The need is justified to increase the early phase geological exploration at the expense of the federal budget funds to prepare the forecasted resources and to create an "exploration reserve" for lead and zinc.

Key words: mineral resource base, lead, zinc, mineral reserves, production, redemption, reserve growth, forecast, resource potential.

Свинец и цинк относятся к базовым промышленным металлам, включены в перечень стратегических видов минерального сырья, утверждённый распоряжением Правительства Российской Федерации от 30 августа 2022 г. № 2473-р, и, согласно Стратегии развития минерально-сырьевой базы Российской Федерации до 2035 г. (далее Стратегии), утверждённой распоряжением Правительства Российской Федерации от 22 декабря 2018 г. № 2914-р, относятся к полезным ископаемым второй группы, достигнутые уровни добычи которых недостаточно обеспечены запасами разрабатываемых месторождений на период до 2035 г. Целевое значение показателя прироста запасов для свинца и цинка установлено Стратегией на уровне 100 %, а в положениях Стратегии отмечено, что эта величина является средней. Её расчёт осуществляется за последние 10 лет, что вызвано необходимостью сглаживания колебаний, связанных с нерегулярным характером открытия месторождений.

Россия обладает полным производственным циклом «руда – концентрат – металл – изделие» по цинку. Для свинца, напротив, в настоящее время существует производственный разрыв. Получаемые на обогатительных фабриках свинцовые концентраты в полном объёме экспортируются, а производство металлического свинца осуществляется из вторичного сырья, преимущественно из переработанных аккумуляторных батарей.

В структуре сырьевого обеспечения по этим металлам страна занимает одно из ключевых мест в мире по следующим показателям [5, 8–13].

По запасам свинца страна находится в тройке мировых лидеров (12,8%), вслед за Австралией (14,5%) и Китаем (29,4%). По выпуску свинца в концентратах Россия входит в десятку – 7 позиция (5%) после Китая (43,9%), Австралии (9,6%), США (6,0%), Мексики (5,9%), Перу (5,6%) и Индии (5,3%). По их экспорту Россия занимает второе (после Перу) место в мире.

По запасам цинка Россия уступает только Китаю (23,9%), а её доля в рейтинге стран-держателей составляет 15,5%. По производству цинка в концентратах (8 позиция в 2022 г., 2,4% от мира) и металлического цинка Россия входит в десятку основных мировых продуцентов концентрата – тройка ведущих стран представлена Китаем (32,4%), Перу (11,0%), Австралией (10%).

В настоящем анализе месторождения свинца и цинка разделены согласно используемой Госбалансом классификации их руд по промышлен-

ным типам (прим. использованные далее понятия «Госбаланс свинца» и «Госбаланс цинка» характеризуют соответствующие выпуски Госбаланса по указанным металлам). В первой группе расположены месторождения, имеющие основное промышленное значение в качестве источника свинца и цинка с получением товарного продукта – свинцового и цинкового концентратов: для свинца это свинцово-цинковый и полиметаллический типы руд. Для цинка помимо перечисленных типов существенное значение имеют месторождения медноколчеданных руд.

Вторая группа месторождений свинца включает объекты золото-колчеданных, золото-полиметаллических, золото-серебряных, золото-сульфидных, медноколчеданных, молибденовых, оловянно-свинцово-цинковых, оловянных и серебряных руд. К этой группе в анализе отнесено и месторождение свинцовых руд Саурейское, содержащее только 326,7 тыс. т свинца, которое не вовлечено в промышленное освоение.

Вторая группа месторождений цинка представлена объектами золото-колчеданных, золото-полиметаллических, золото-серебряных, золото-сульфидных, золото-сульфидно-цинковых, оловянно-свинцово-цинковых, оловянных, серебряных и цинково-флюоритовых руд. Помимо перечисленных, во вторую группу включено Амурское месторождение цинковых руд, его запасы цинка 383,9 тыс. т по экономическим причинам являются забалансовыми.

Кроме того, в анализируемый период Госбалансом цинка при описании типов руд месторождений также были выделены ещё три типа, которые по различным причинам в настоящее время не используются:

- молибденовые руды Бугдаинского месторождения, 1993–2007 гг., Государственной комиссией по запасам (ГКЗ) при утверждении новых кондиций все запасы цинка сняты с учёта;
- медно-кобальтовые руды Дергамышского месторождения, 2013–2018 гг., запасы цинка в них отработаны;
- серебро-полиметаллический тип, использовался Госбалансом цинка при описании месторождений Прогноз (2001–2013 гг.) и Верхне-Менкече (2002–2013 гг.). На первом объекте первоначально поставленные на баланс по результатам разведочных работ запасы цинка далее при утверждении нового ТЭО (2013 г.) были сняты с учёта. На втором – Госбалансом цинка указанный

тип руд в 2014 г. переопределён на ранее учтённый серебряный (до 2002 г.). При этом в Госбалансе свинца оба этих месторождения определены как серебряные, и в указанные временные интервалы изменения типов руд не происходило. Для сопоставимости в представленном анализе месторождения Прогноз и Верхне-Менкече рассмотрены в качестве серебряных.

На начало 2023 г. свинец и цинк из перечисленных типов второй группы каждого металла в товарные продукты (концентрат) извлекаются из серебряных, золото-серебряных и оловянно-цинково-цинковых руд.

В Госбалансе месторождения по степени промышленного освоения подразделяются на две группы – объекты распределённого фонда недр (разрабатываемые и разрабатываемые на другие компоненты, подготавливаемые к освоению, разведываемые) и нераспределённого фонда (не переданные в освоение). При этом месторождения первой группы, согласно Госбалансу, могут иметь участки как разрабатываемые, так и подготавливаемые к освоению, разведываемые и находящиеся в нераспределённом фонде, например фланги и глубокие горизонты. В представленном анализе это распределение месторождений сохранено.

При анализе результативности геологоразведочных работ и динамики воспроизводства балансовых запасов категорий $A + B + C_1 + C_2$ с 1993 г. по настоящее время все месторождения свинца и цинка дополнительно разделены на две группы – объекты, поставленные на государственный учёт в советский период и отнесённые к «старым», и «новые», учтённые Госбалансом уже в российский этап развития минерально-сырьевой базы (МСБ) этих металлов.

Промышленные (подготовленные к эксплуатации или эксплуатируемые) запасы главным образом представлены категориями B и C_1 . Запасы цинка категории A на начало 2023 г. учтены только на двух «старых» месторождениях и составляют 7,7 тыс. т, для свинца они отсутствуют.

Также для целостности анализа установленный Стратегией средний показатель воспроизводства запасов в 100% от их погашения за последние 10 лет не только расширен на весь рассмотренный временной период, 1993–2022 гг., но и учтены годовые значения прироста запасов и их погашения. Это позволило оценить интенсивность изменения каждого из указанных показателей.

При оценке результативности геологоразведочных работ (ГРП) в российский период в качестве критерия принято количество поставленных на государственный учёт «новых» месторождений свинца и цинка с балансовыми запасами категорий $B + C_1 + C_2$, а также крупность таких месторождений (раздельно по каждому компоненту в тыс. т Pb и Zn : малые до 100, средние 100–1000, крупные от 1000 [3]).

Развитие минерально-сырьевой базы свинца в 1993–2022 гг. Сырьевая база свинца России характеризуется отрицательной динамикой изменения суммарных балансовых запасов (далее запасов, если не отмечено особо), в 1993–2022 гг. они снизились с 19 409,5 до 17 233 тыс. т. Основными факторами убыли являются эксплуатация месторождений, списание запасов, произошедших на ряде «старых» объектов вследствие переоценки и неподтверждения, сравнительно малое количество выявленных по результатам ГРП значимых по крупности запасов «новых» месторождений от их общего числа.

«Старые» месторождения. В структуре запасов промышленных типов руд определяющее положение занимают свинцово-цинковые и полиметаллические месторождения. В 1993–2022 гг. их доля в целом не претерпела изменений и на начало 2023 г. составляет 87,9%. При этом постепенно с 1993 г. вклад свинцово-цинковых месторождений снижается, в 2022 г. на него впервые пришлось менее половины – 49,7%; полиметаллических, напротив, растёт, 38,2%. Это обусловлено более интенсивной динамикой снижения запасов на объектах свинцово-цинковых руд, в 1,6 раз до 6916,7 тыс. т в 2022 г. относительно 1993 г., в сравнении с объектами полиметаллических и прочих типов руд – убыль в 1,1 и 1,3 раза до 5311,3 и 1684,4 тыс. т.

Такая динамика определяет уровень воспроизводства запасов на «старых» месторождениях – только дважды он превысил 100% вследствие доразведки медноколчеданных Северо-Подольского и Сафьяновского (1994 г.) и серебряного Верхне-Менкече (1999 г.) месторождений. В остальные годы показатель воспроизводства не только не достигал 100%, но и 8 раз (1996, 2005–2009, 2011, 2015 гг.) был отрицательным, что отразилось на значении прироста запасов в 1993–2022 гг., – 1774,6 тыс. т свинца (*прим. при отрицательном значении прироста запасов также используется понятие «урост»*).

Среди «старых» месторождений наибольшее списание запасов произошло в следующие годы: из-за переоценки (пересчёт по новым кондициям) на свинцово-цинковом Горевском (2015 г.) и молибденовом Бугдаинском (2007 г.) – 1478,3 и 452,5 тыс. т; вследствие их неподтверждения при эксплуатационной разведке на свинцово-цинковом Николаевском (2006 и 2011 г.), суммарно 178,1 тыс. т, и переутверждения постоянных кондиций этого месторождения (2015 г.) – 193 тыс. т (рис. 1).

На золото-серебряном Дукатском месторождении в 2005 г. запасы свинца и цинка в полном объ-

ёме в количестве 82,3 и 78,9 тыс. т были списаны ГКЗ Роснедра из-за нецелесообразности отработки, согласно технико-экономическим расчётам. Однако уже в 2006 г. были учтены вновь для решения вопроса извлечения свинца и цинка в товарные продукты, при этом количество запасов металлов уменьшилось, составив соответственно 46,4 и 48,2 тыс. т.

«Новые» месторождения. В результате геологоразведочных работ в 1993–2022 гг. на государственный учёт были поставлены 22 месторождения свинца. При этом на месторождении Уваряж первоначально учтённые (2003 г.) Госбалансом

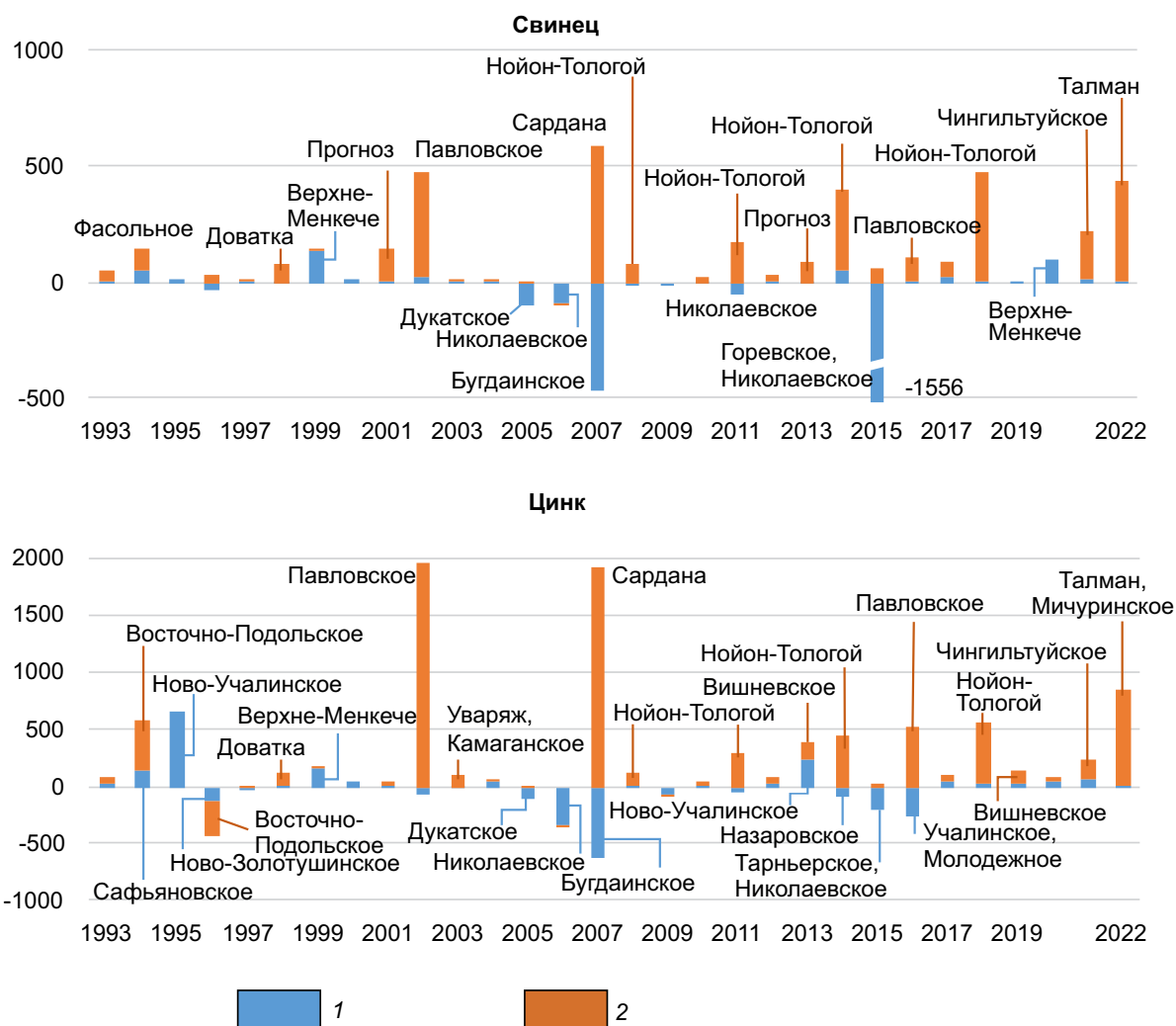


Рис. 1. Прирост балансовых запасов* свинца и цинка (тыс. т) на «старых» и «новых» месторождениях за счёт всех причин:

месторождения : 1 – «старые» и 2 – «новые»; *здесь и далее с учётом уточнений сведений Госбаланса ПИ

запасы свинца 4,5 тыс. т в 2008 г. были сняты из-за низких содержаний этого металла в руде и отсутствия технологии его извлечения. Как отмечено в Госбалансе, их учёт был как оперативно подчитанных, но протоколом РКЗ Республики Башкортостан № 14/1029 от 30.12.2003 г. запасы этого металла не были утверждены. На начало 2023 г. Госбалансом остаётся учтённым 21 «новое» месторождение свинца с суммарными балансовыми запасами 3320,6 тыс. т. Прирост балансовых запасов за 1993–2022 гг. достиг 3608,2 тыс. т, из которых были погашены (добыча и эксплуатационные потери) 287,6 тыс. т.

Результативность ГРП в рассматриваемый период является неравномерной во времени и имеет следующие особенности.

В 1993–2001 гг. после проведения работ и государственной экспертизы на баланс были поставлены 5 «новых» месторождений, 3 свинцово-цинковых и 2 полиметаллических. Суммарные запасы на них соответственно составили 136 и 131,1 тыс. т свинца. На Майминовском полиметаллическом месторождении, вклад которого в прирост запасов этого типа руд составил 47,1 из 131,3 тыс. свинца, 2,5 тыс. т металла в 1993–2000 гг. были отработаны.

С 2002 г. результативность ГРП стала возрастать, на учёт были поставлены значимые объекты свинцово-цинковых руд – Павловское, Сардана и Нойон-Тологой. Дальнейшая доразведка первого и третьего месторождений определили главную позицию объектов этого типа руд в структуре балансовых запасов свинца «новых» месторождений. На начало 2023 г. на семи месторождениях они составляют 2164,9 тыс. т или 65,2% от «новых» объектов.

Для полиметаллических месторождений рост результативности ГРП произошёл только с 2021 г. В этот год на баланс было поставлено Чингильтуйское месторождение, содержащее 189,8 тыс. т свинца, а в следующий – Талман (438,9 тыс. т). На начало 2023 г. на семи объектах этого типа руд учтены 821,5 тыс. т металла или 24,7%.

Первый прирост запасов свинца в группе месторождений прочих типов руд отмечен в 2001 г., когда по завершении ГРП на Госбаланс было поставлено месторождение серебряных руд Прогноз, содержащее попутно 144,7 тыс. т свинца. Изменение запасов Прогноза влияет на показатели этой группы. При переутверждении ТЭО в 2013 и 2022 гг. запасы месторождения сначала увеличи-

лись до 213,3 тыс. т (прим. согласно протоколу госэкспертизы – уточнение в сравнении с Госбалансом), после уменьшились до 198,5 тыс. т. Вклад в прирост запасов остальных 6 объектов менее значим, суммарно 158,1 тыс. т свинца. По состоянию на начало 2023 г. запасы свинца месторождений прочих типов руд с учётом их погашения при эксплуатации 22,4 тыс. т, составляли 334,2 тыс. т или 10,1%.

Степень изученности месторождений (оценённая или разведанная), текущий статус ТЭО (временные или постоянные разведочные кондиции), плотность разведочной сети с наличием участков детализации для месторождений незатронутых добычей и эксплуатируемых объектов, где информация о рудных телах дополнительно подтверждена эксплуатационной разведкой, сложность геологического строения рудных тел, их мощность и характер минерализации [2], а также крупность учтённых запасов каждого объекта – все эти параметры в совокупности определяют показатель структуры балансовых запасов в выделенных группах типов руд месторождений. Количество он выражен отношением запасов категорий В + С₁ и С₂.

На свинцово-цинковых месторождениях на начало 2023 г. этот показатель в среднем составлял (в%) 40 к 60, полиметаллических – 24 к 76, прочих – 58 к 42.

Представленная характеристика группы свинцово-цинковых месторождений обусловлена крупными месторождениями. На Сардане все запасы свинца подсчитаны по временным разведочным кондициям и квалифицированы при экспертизе по категории С₂. У Нойон-Тологой и Павловского запасы свинца подсчитаны на основе постоянных разведочных кондиций, а их отношение В + С₁ к С₂ достигает 64 к 36 и 55 к 45%. На остальных четырёх месторождениях группы преобладают запасы категории С₂ (Фасольное и Августовское) или учтена только эта категория (Сарафанский (Черемшанский рудный узел), Ируновское).

Показатель группы полиметаллических объектов определяется месторождениями Талман и Чингильтуйское, как наиболее крупных. На первом объекте запасы подсчитаны по постоянным разведочным кондициям, отношение С₁ к С₂ составляет 38 к 62%, на втором по временным – 2 к 98%. На остальных малых объектах группы, кроме Галкинского, где преобладает категория С₁, запасы представлены преимущественно категорией

C_2 , а на Доватке квалифицирована только эта категория. При этом характеристика месторождения Восточно-Зареченский участок обусловлена почти полной отработкой запасов категории C_1 .

В группе прочих руд на наиболее крупном месторождении Прогноз и малом Мангазейском отношение запасов категорий C_1 к C_2 составляет 92 к 8% и 94 к 6%. На остальных 5 объектах все запасы квалифицированы по категории C_2 .

Обеспечение стабильности функционирования действующих центров добычи (Нойон-Тологой и др.), формирование долговременных условий не только для начала эксплуатации, но и последующего её продолжения для месторождений, пока не затронутых отработкой (Чингильтуйское и др.), определяет целесообразность дальнейших разведочных работ на «новых» месторождениях свинца, направленных на повышение доли промышленных запасов категорий (В) + C_1 .

Таким образом, в 1993–2022 гг. общее воспроизводство запасов сырьевой базы свинца с учётом «уроста» на «старых» месторождениях (-1774,6 тыс. т) и результатов работ по выявлению «новых» месторождений (3608,2 тыс. т) достигло 1833,6 тыс. т. При эксплуатации месторождений в этот период были погашены 4010,1 тыс. т свинца. Соотнесение этих характеристик определяет уровень воспроизводства запасов, который составляет 45,7%. Как отмечено выше, в Стратегии он установлен в 100% за десятилетний период, однако имеющееся недостижение этого значения в более длительный период отражает отсутствие должного воспроизводства сырьевой базы свинца и означает её исчерпание. Количественная разность между приростом запасов и их погашением за 1993–2022 гг. в 2176,5 тыс. т характеризует накопленную недостаточность восполнения сырьевой базы свинца, которую необходимо учитывать при прогнозировании её развития.

В 2023 г., по предварительным данным ФБУ «ГКЗ», весь прирост запасов свинца был обеспечен только «новыми» месторождениями, однако он не компенсирует ожидаемый уровень погашения в этом году в целом по РФ. Основной вклад в прирост запасов свинца обеспечили проведённые работы на флангах и глубоких горизонтах полиметаллического Шивиинского и серебряного Мангазейского месторождений – 56,7 и 25,1 тыс. т. По результатам ГРП впервые на учёт были поставлены два месторождения: серебряное Чистое, содержащее 19,2 тыс. т свинца, и серебряно-медное

Верхне-Золотое, по экономическим и технологическим причинам подсчитанные на нём 8,1 тыс. т запасов свинца при экспертизе отнесены к балансовым.

Развитие минерально-сырьевой базы цинка в 1993–2022 гг. Сырьевая база цинка России также характеризуется сокращением суммарных балансовых запасов в 1993–2022 гг. с 61 529,3 до 58 766,1 тыс. т. Основными факторами убыли являются эксплуатация месторождений, списание запасов, произошедшие на ряде «старых» объектов вследствие переоценки, неподтверждения и иных причин, сравнительно малое количество выявленных по результатам ГРП «новых» значимых по запасам месторождений.

«Старые» месторождения. В структуре запасов промышленных типов руд ведущее положение принадлежит полиметаллическим месторождениям, следующие по значимости медноколчеданные и свинцово-цинковые. Суммарно в 1993–2022 гг. их доля в запасах в целом не претерпела изменений, составляя 97% на начало 2023 г.

При этом постепенно значимость медноколчеданных месторождений в запасах снижается, в 2022 г. на них учтены 22,3% от их общего количества, полиметаллических и свинцово-цинковых, напротив, растёт – 52,1 и 22,6%.

Изменения в целом обусловлены более интенсивным погашением запасов на объектах медноколчеданных руд при их эксплуатации, в 2022 г. они сократились в 1,55 раза относительно 1993 г. до 11 444 тыс. т, по сравнению со свинцово-цинковыми и полиметаллическими рудами – сокращение в 1,11 и 1,06 раза до 11 648,1 и 26 801,6 тыс. т.

Вследствие этого уровень воспроизводства запасов на «старых» месторождениях только единожды превысил 100%, при доразведке медноколчеданного Ново-Учалинского месторождения (1995 г.) В остальные годы показатель воспроизводства не только не достигал 100%, но и 11 раз (1996, 1997, 2002, 2005–2007, 2009, 2011, 2014–2016 гг.) был отрицательным, что отразилось на значении прироста запасов в 1993–2022 гг. – 283,9 тыс. т цинка.

Среди «старых» месторождений наибольшее списание запасов цинка отмечено в следующие годы: из-за переоценки (пересчёт по новым условиям) на молибденовом Бугдаинском (2007 г.), медноколчеданных Учалинском (2016 г.) и Тарньерском (2015 г.), соответственно 631,8, 220,6 и 95,6 тыс. т; из-за неподтверждения при эксплуатационной разведке (2006 и 2011 г.) на свинцово-

цинковом Николаевском, суммарно 250,9 тыс. т, и переутверждения постоянных кондиций (2015 г.) – 136,5 тыс. т (рис. 1). В 2006 г. с учёта были списаны 190,8 тыс. т балансовых запасов цинка Весенне-Аралчинского медноколчеданного месторождения по причине расположения на территории Республики Казахстан.

«Новые» месторождения. Динамика наращивания запасов цинка на «новых» месторождениях схожа с таковой для свинца. Результативность ГРП возрастает с 2002 г., когда на учёт было поставлено первое значимое по запасам цинка месторождение Павловское, содержащее 1967,2 тыс. т металла, а суммарные запасы объектов свинцово-цинковых руд превысили 2000 т, увеличившись сразу в 14,7 раз.

Дальнейшее укрепление сырьевой базы цинка также обусловлено успешностью ГРП и постановкой на баланс свинцово-цинковых месторождений Сардана и Нойон-Тологой. При этом на последнем объекте, а также Павловском месторождении отмечен прирост запасов после их доразведки.

Для полиметаллических объектов крупный прирост запасов произошёл только в 2022 г. и обусловлен постановкой на государственный учёт месторождения Талман, содержащего 541,1 тыс. т цинка, после чего суммарные запасы этой группы месторождений превысили 1000 т.

Значимые изменения запасов медноколчеданных месторождений обусловлены последовательными во времени работами на Вишневском месторождении. В 1999 г. после ГРП решением РКЗ Республики Башкортостан разведанные запасы Вишневского месторождения 260,9 тыс. т. ввиду нерентабельности отработки были утверждены в качестве забалансовых. В 2012 г. была завершена поисково-оценочная стадия работ и на основе утверждённых временных разведочных кондиций осуществлён прирост балансовых запасов цинка в количестве 175 тыс. т при уменьшении забалансовых запасов на 255 тыс. т. В Госбалансе эти изменения запасов отражены в 2000 и 2013 гг. После проведения разведочных работ, утверждения ТЭО постоянных кондиций запасы цинка месторождения увеличились до 263,2 тыс. т.

Структура балансовых запасов цинка на месторождениях свинцово-цинковых и полиметаллических руд подобна таковой для свинца, отношение категорий В + С₁ к С₂ в среднем по каждой группе соответственно составляет (в %) 36 к 64 и 27 к 73. Представленные значения обуслов-

лены месторождениями Нойон-Тологой, Павловское, Сардана, Талман и Чингильтуйское.

В группе объектов медноколчеданных руд отношение запасов категории С₁ (*прим. категория В при этом не оценена*) к С₂ составляет 85 к 15% и обусловлено Вишневским месторождением, его значения 87 к 13%.

Общая результативность ГРП 1993–2022 гг. выражена тридцатью шестью «новыми» месторождениями, содержащими балансовые запасы цинка. По различным причинам четыре из тридцати шести объектов перестали учитываться Госбалансом цинка, ещё на одном месторождении балансовые запасы переведены в забалансовые.

На медно-кобальтовом Дергамышском и серебряном Терем запасы цинка в руде были погашены при эксплуатации к 2018 г.

На медноколчеданном месторождении Левобережное, согласно протоколу ГКЗ № 2430 от 2011 г., ранее поставленные (2004 г.) запасы цинка были сняты с государственного учёта по причине невозможности получения цинкового концентрата, а извлекавшийся при лабораторных исследованиях цинк в медный концентрат в процессе дальнейшего металлургического передела полностью переходил в шлам.

На медноколчеданном Восточно-Подольском и серебряном Прогнозе первоначально поставленные в 1994 и 2001 гг. балансовые запасы цинка были переоценены. На Восточно-Подольском из-за длительного срока окупаемости затрат для их освоения решением РКЗ Республики Башкортостан запасы месторождения были списаны и переведены в забалансовые по технико-экономическим причинам (*прим. изменение отражено в Госбалансе на 01.01.1997 при протоколе от 01.04.1997 № 4/955*). На Прогнозе решением ГКЗ (протокол от 29.11.2013 г № 3409) запасы цинка сняты с учёта как неизвлекаемые при переработке.

С учётом этих особенностей общий прирост балансовых запасов на «новых» объектах составил 7794,9 тыс. т цинка. Кроме того, в результате ГРП на учёт как забалансовые были поставлены запасы цинка трёх месторождений: Амурское, Звездное, Утреннее – в сумме 451,8 тыс. т.

С учётом добычи и списания эксплуатационных потерь (461,4 тыс. т) на начало 2023 г. на 31 «новом» объекте учтены 7333,5 тыс. т цинка. Из них 7 относятся к свинцово-цинковым, 8 – к полиметаллическим, 9 – к медноколчеданным; их суммарные балансовые запасы соответственно

составляют 5542,3, 1027 и 310,1 тыс. т цинка. Среди свинцово-цинковых месторождений наиболее крупными являются Павловское (2487,9 тыс. т), Сардана (1926,4 тыс. т), Нойон-Тологой (948,4 тыс. т); полиметаллических – Талман (541,2 тыс. т) и Чингильтуйское (150,4 тыс. т); медноколчеданных – Вишневское (241,4 тыс. т). Среди месторождений прочих типов руд наиболее значимо золото-полиметаллическое Мичуринское, содержащее 309,6 тыс. т цинка.

Таким образом, в 1993–2022 гг. общее воспроизводство запасов сырьевой базы цинка, с учётом «уроста» на «старых» месторождениях (-283,9 тыс. т) и результатов работ по выявлению «новых» месторождений (7794,9 тыс. т), достигло 7511 тыс. т. При эксплуатации месторождений в этот период были погашены 10 274,2 тыс. т цинка. Расчётный уровень воспроизводства запасов за 1993–2022 гг. составил 73,1%, что отражает наличие длительного истощения сырьевой базы цинка без должного воспроизводства. Количественная разность между приростом запасов и их погашением за 1993–2022 гг. в 2763,2 тыс. т характеризует накопленную недостаточность восполнения сырьевой базы цинка, которую необходимо учитывать при прогнозировании её развития.

В 2023 г., по предварительным данным ФБУ «ГКЗ», весь прирост балансовых запасов цинка был обеспечен только «новыми» месторождениями, по количеству он может компенсировать ожидаемый годовой уровень погашения в целом по РФ. По результатам ГРП впервые на учёт было поставлено медно-цинковоколчеданное (экспертно отнесено к медноколчеданному типу руд) Новопетровское месторождение с запасами цинка 376,9 тыс. т. Остальной прирост запасов обеспечили доразведка флангов и глубоких горизонтов полиметаллического Шивиинского месторождения – 53,9 тыс. т. По результатам ГРП впервые на учёт были поставлены два месторождения, упомянутые серебряное Чистое, содержащее 47,3 тыс. т цинка, и серебряно-медное Верхнее-Золотое, его запасы цинка 29,8 тыс. т отнесены экспертизой к забалансовым.

Распределение месторождений по промышленным типам руд и степени освоения.

Сырьевая база свинца на начало 2023 г. образована 108 месторождениями с общими запасами 17 233 тыс. т. В том числе учтены 10 объектов только с забалансовыми запасами. В распределённом фонде находились 47 месторождений

из 98 с балансовыми запасами (кат. $BC_1 + C_2$), содержащих 10 854,2 тыс. т или почти 63%.

Сырьевая база цинка сформирована 161 месторождением с общими запасами 58 766,1 тыс. т, из них 24 содержат только забалансовые запасы. В недропользование переданы 72 объекта из 137 с балансовыми запасами (кат. $ABC_1 + C_2$), на которых учтены 31 506,4 тыс. т или 53,6%.

На общий уровень лицензирования запасов сырьевой базы рассматриваемых металлов влияет Холондинское месторождение, освоение которого невозможно из-за нахождения в центральной экологической зоне Байкальской природоохранной территории (свинца – 3358,9 и цинка – 21 195,2 тыс. т или 19,5 и 36,1% от всех запасов РФ). С учётом указанного обстоятельства уровень лицензирования запасов сырьевой базы этих металлов составляет Pb – 78,2 и Zn – 83,9%.

Свыше 90% запасов свинца и почти 92% цинка из переданных в освоение контролируют 9 компаний: АО «Горевский ГОК», Группа «Highland Gold», ОАО «УГМК», ООО «Байкалруд», ООО «Якутский газоперерабатывающий комплекс», АО «Первая горнорудная компания», ООО «Горная компания (ГК) "Золотая гора"», АО «ГМК "Дальполиметалл"», ООО «Лунсин». За исключением последних трёх компаний, находящиеся в их собственности месторождения по запасам свинца и цинка превышают 500 тыс. т. У ООО «ГК «Золотая гора», АО «ГМК «Дальполиметалл», ООО «Лунсин» учтённые запасы свинца в убывающем порядке составляют 438,9–109,1 тыс. т.

При указанных особенностях лицензирования сырьевой базы свинца и цинка между «старыми» и «новыми» объектами определены различия, которые рассмотрены ниже, при этом представлена динамика за 1993–2022 гг.

«Старые месторождения». Свинцово-цинковые руды. Состояние освоённости основных запасов свинца и цинка зависит от степени промышленного освоения Горевского и Озерного месторождений (рисунки 2 и 3).

На первом объекте в 1993–1998 гг. все запасы числились в качестве подготавливаемых. С 1999 г. запасы руды Горевского месторождения для открытой добычи в Госбалансе стали иметь разрабатываемую степень освоения, для подземной – подготавливаемую. В 2015 г., как отмечено выше, недропользователь АО «Горевский ГОК» переоценил запасы месторождения с их уменьшением. Запасы под открытую обработку, подсчитанные

на основе постоянных разведочных кондиций до абс. отметки -175 м, стали учитываться Госбалансом как разрабатываемые, до абс. отметки -435 м – как подготавливаемые. Запасы для подземной отработки в связи с низкой степенью их изученнос-

ти и подсчётом на основе временных разведочных кондиций отнесены при экспертизе в ГКЗ к разведываемым. С 2017 г. после согласования нового технического проекта разработки месторождения все запасы под открытую отработку

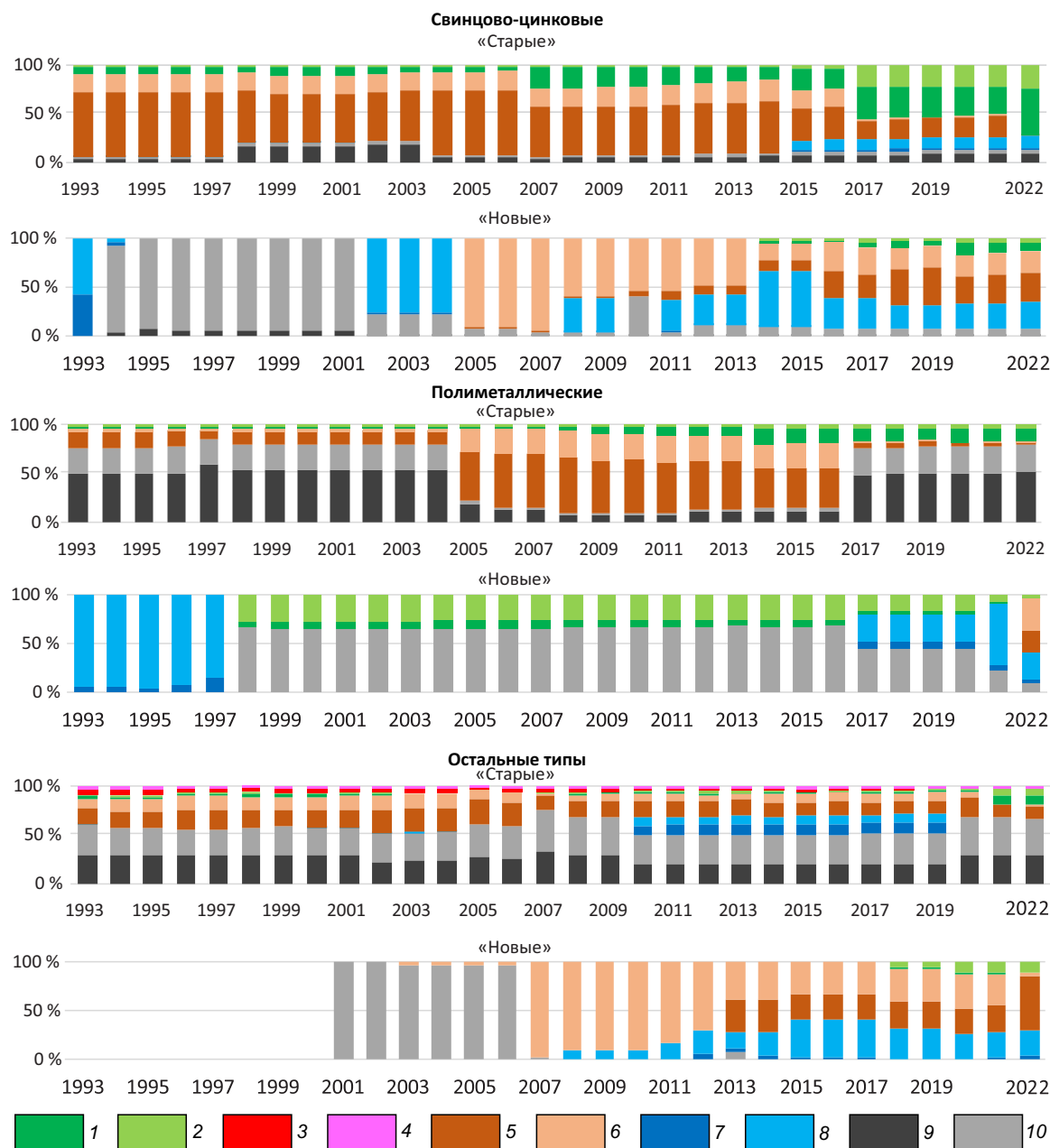


Рис. 2. Динамика балансовых запасов «старых» месторождений свинца по уровням промышленного освоения, %:

распределённый фонд (РФН), уровни освоения: РЗР – разрабатываемые: 1 – ABC_1 , 2 – C_2 , РК – разрабатываемые на другие компоненты: 3 – ABC_1 , 4 – C_2 ; ПО – подготавливаемые к освоению: 5 – ABC_1 , 6 – C_2 , РЗВ – разведываемые: 7 – ABC_1 , 8 – C_2 ; нераспределённый фонд (НРФН): не переданные в освоение: 9 – ABC_1 , 10 – C_2

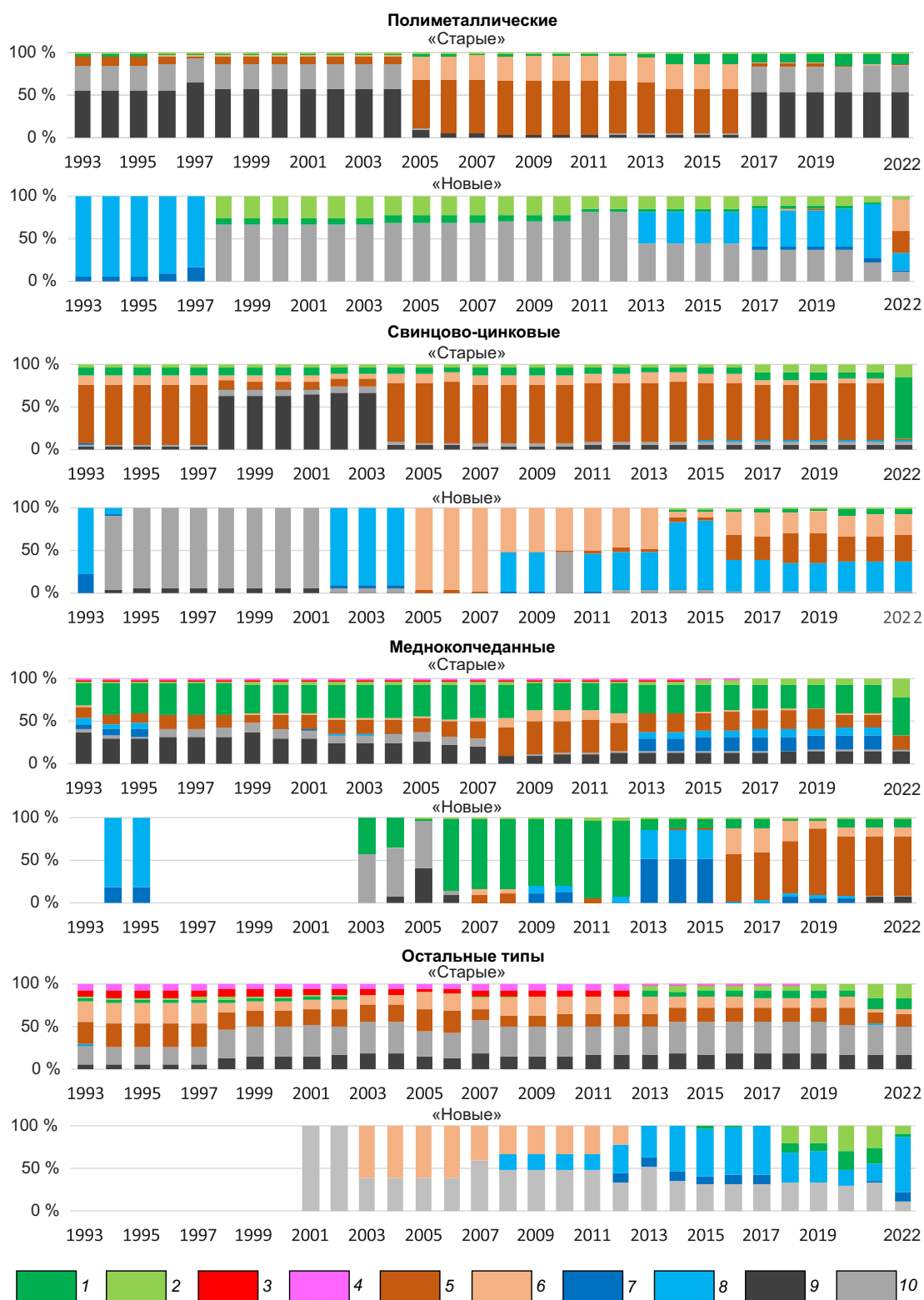


Рис. 3. Динамика балансовых запасов «старых» месторождений цинка по уровням промышленного освоения, %:

распределённый фонд (РФН), уровни освоения: РЗР – разрабатываемые: 1 – ABC_1 , 2 – C_2 , РК – разрабатываемые на другие компоненты: 3 – ABC_1 , 4 – C_2 , ПО – подготавливаемые к освоению: 5 – ABC_1 , 6 – C_2 , РЗВ – разведываемые: 7 – ABC_1 , 8 – C_2 ; нераспределённый фонд (НРФН): не переданные в освоение: 9 – ABC_1 , 10 – C_2

учитываются Госбалансом как разрабатываемые, поскольку добыча осуществляется в пределах единого карьера.

Процесс освоения Озерного месторождения являлся прерывистым. В 1998 г. произошёл отзыв лицензии у АО «Цветметинвест», общество не смогло приступить к работам из-за отсутствия финансовых средств. В 2004 г. месторождение вновь было лицензировано, перейдя из нераспределённого фонда недр в подготавливаемое. Однако финансовые трудности, последовавшая смена инвестора отложили фазу эксплуатации месторождения. Только с 2020 г. ООО «Озерное» (входит в группу «Highland Gold») начало на объекте добычу. Руда направлялась на склад, в 2022 г. запасы стали учитываться Госбалансом как разрабатываемые.

Отсутствие изменений в запасах нераспределённого фонда недр с 2015 г. для обоих металлов отражает низкий уровень инвестиционного интереса к учтённым в нём объектам.

Полиметаллические руды. На освоенность запасов свинца и цинка этой группы месторождений влияет Холоднинское месторождение (см. рисунки 2 и 3). В 2005 г. месторождение было передано ООО «ИнвестЕвроКомпани», движение запасов не происходило, а в 2017 г. в соответствии с приказом Роснедра лицензия была прекращена досрочно по причине расположения в Центральной экологической зоне Байкальской природной территории, в границах водоохранной зоны оз. Байкал, где добыча руд запрещена.

Среди менее крупных месторождений выделяются Корбалихинское (принадлежит структурному подразделению ОАО «УГМК» компании «Сибирь-Полиметаллы») и Кызыл-Таштыгское (ООО «Лунсин»). Стадии эксплуатации (Кызыл-Таштыгское с 2013 г., Корбалихинское с 2014 г.) предшествовало длительное нахождение запасов в статусе подготавливаемых, на первом объекте с 2006 г., на втором с 1998 г. после повторного лицензирования.

Медноколчеданные руды. Освоенность месторождений этого типа руд характеризуется волнообразной динамикой (см. рис. 3). В 1996–1999 гг. отмечен максимальный рост запасов цинка нераспределённого фонда до 8368,8 тыс. т, обусловленный Ново-Учалинским (прекращение работ АО «Уралцветметразведка» из-за отсутствия финансирования и передача объекта в государственный резерв), Комсомольским и Тарньерским аннулированием лицензий) месторождениями. При

этом более сильное «замораживание» запасов было компенсировано лицензированием (1103,3 тыс. т) Юбилейного месторождения (1996 г.). Улучшение рыночной конъюнктуры и связанного с ней финансового состояния добывающих предприятий, необходимость замещения выбывающих мощностей способствовали возвращению интереса к объектам нераспределённого фонда и их лицензированию, в том числе повторному. С 2000 по 2008 гг. переданы в недропользование крупные Подольское и Ново-Учалинское и среднемасштабные объекты Тарньерское, Чебачье и др. Это сократило нераспределённый фонд до 1580,5 тыс. т. В последующие 4 года запасы нераспределённого фонда вновь увеличились из-за аннулирования лицензий на ряде объектов – Левихинская группа месторождений, Кизил-Дере и др. После его состояние в целом стабилизировалось, в нём остаются два значимых по запасам цинка месторождения (тыс. т): Комсомольское – 712,4 и Ново-Урское – 560,1, которые в перспективе могут быть лицензированы. Однако из-за давности экспертизы запасов (первое 1988 г., второе 1955 г.) они нуждаются в переоценке. Существенные колебания запасов, имеющих статус разведываемых и подготавливаемых, вызваны Ново-Учалинским месторождением и особенностью его учёта Госбалансом. С 2022 г. объект перешёл в категорию разрабатываемых.

Остальные типы руд. Состояние освоенности запасов свинца и цинка этой группы месторождений определяется привлекательностью и востребованностью основных компонентов, серебра, золота и др. Так, относительная стабильность запасов нераспределённого фонда цинка и отчасти свинца с 2008 г. связана с необходимостью поиска инвесторов по освоению свинец- и цинксодержащих объектов оловянных руд – Шерловогорское и др. (см. рисунки 2 и 3). Отрицательным фактором востребованности может являться формальная «монометалльность» месторождения. Так, Саурейское месторождение, где Госбалансом учтены только запасы свинца, в 2010–2019 гг. являлось разведываемым. Однако работы не были завершены, а авторская оценка попутных компонентов (барит, золото и пр.), осуществлённая согласно Государственному кадастру месторождений [6] ещё в СССР, пока остаётся неподтверждённой государственной экспертизой запасов. В 2020 г. по инициативе владельца объект вновь перешёл в нераспределённый фонд.

«Новые» месторождения. Свинцово-цинковые руды. Из семи свинцово-цинковых месторождений на начало 2023 г. в распределённом фонде находятся три (Нойон-Тологой, Павловское, Сардана). Кроме того, в распределённом фонде числится участок свинцово-цинковых руд золото-полиметаллического месторождения Ергожу. На них сосредоточены практически все балансовые запасы свинца и цинка «новых» месторождений этого типа руд – 2004,8 из 2164,9 тыс. т и 5363,4 из 5542,3 тыс. т (см. рисунки 2 и 3). Разрабатывается одно – Нойон-Тологой, при этом большая часть запасов учитывается Госбалансом в качестве подготавливаемых, 590 из 862,7 тыс. т свинца и 594,4 из 948,4 тыс. т цинка, что связано с последовательной обработкой различных участков месторождения. Подготавливаемым к освоению является Павловское месторождение, разведываемым – Сардана, а также участок свинцово-цинковых руд месторождения Ергожу. Особенностью месторождения Сардана является весьма длительный этап разведки, первоначально учтённые запасы свинца и цинка (592,2 и 1926,4 тыс. т) не изменились и, как было отмечено выше, оценены только по категории C_2 . Остаются переданными в освоение 4 малых месторождения, на Августовском и Фасольном запасы подсчитаны с преобладанием категории C_2 , на Ируновском и Сарафанном учтена только эта категория.

Полиметаллические руды. В Госбалансе свинца среди семи полиметаллических месторождений на начало 2023 г. в распределённом фонде находятся шесть (Талман, Чингильтуйское, Шивиинское, Майминовское, Галкинское, Восточно-Заречинский участок), в сумме на них учтены 737,5 из 821,5 тыс. металла (см. рисунки 2 и 3). В Госбалансе цинка дополнительно к ним также учитывается разведываемое Светкинское месторождение. Суммарные запасы этих семи объектов составляют 911 тыс. т цинка или 88,7% от всех учтённых.

Эксплуатируются два малых объекта – Майминовское и Восточно-Заречинский участок. В стадии подготовки находятся два месторождения: малое Галкинское и среднеразмерное Талман. Особенностью последнего объекта является его первоначальный учёт Госбалансом сразу в стадии подготавливаемого, что связано с планами недропользователя АО «ГК "Золотая гора"» приступить к его эксплуатации с 2023 г. В стадии разведки находятся Чингильтуйское, Шивиинское

и Светкинское (учёт только в Госбалансе цинка). В нераспределённом фонде длительное время числится малое месторождение Доватка с запасами свинца и цинка, оценёнными по категории C_2 .

Медноколчеданные руды. На начало 2023 г. из восьми месторождений с балансовыми запасами цинка 310,1 тыс. т в распределённом фонде состоят пять, в сумме на них числятся 280,9 тыс. т. Наиболее крупный объект – Вишневское. Почти все его запасы по степени освоения являются подготавливаемыми – 240,6 тыс. т цинка (см. рис. 3).

Остальные типы руд. Высокая ликвидность золота и серебра определяет привлекательность проведения ГРП на выявление этих месторождений. Все поставленные на баланс недропользователями свинецсодержащие и, кроме одного малого Уваряж (*прим. лицензия была аннулирована по истечении срока действия*), остальные цинко-содержащие месторождения (см. рисунки 2 и 3), где золото и (или) серебро являются основными компонентами, остаются в распределённом фонде недр.

Разрабатываемыми являются месторождения серебряных руд Перевальное, Вертикальное, Терем и золотоколчеданное Юлалы, подготавливаемое серебряное Прогноз, разведываемые золото-полиметаллические Мичуринское и Ергожу, серебряное Мангазейское.

Добыча свинца и цинка в первые годы рассматриваемого российского периода освоения сырьевой базы характеризуется спадом (рис. 4). Для свинца минимальное значение (16,4 тыс. т) отмечено в 1998 г., цинка (194,5 тыс. т) – в 1997 г. Основным фактором снижения стали негативные процессы, вызванные дезинтеграцией сформированного в советский период единого добывающего и металлургического комплекса, расположенного как на территории РСФСР (РФ), так и союзных республик. Последующая адаптация отечественных добывающих предприятий к новым условиям хозяйствования, совпавшая с улучшением внешнеэкономической конъюнктуры цен на цветные металлы, позволила недропользователям выйти на в целом положительную динамику добычи свинца и цинка. Несмотря на сокращение в отдельные годы, в 2022 г. добыча свинца по сравнению с 1993 г. увеличилась в 5,7 раз до 318,1 тыс. т, по цинку почти удвоилась, составив 505,1 тыс. т.

В структуре добычи для обоих металлов доли «новых» месторождений были низкими в 1993–2013 гг. и не превышали по свинцу 2% и по цинку

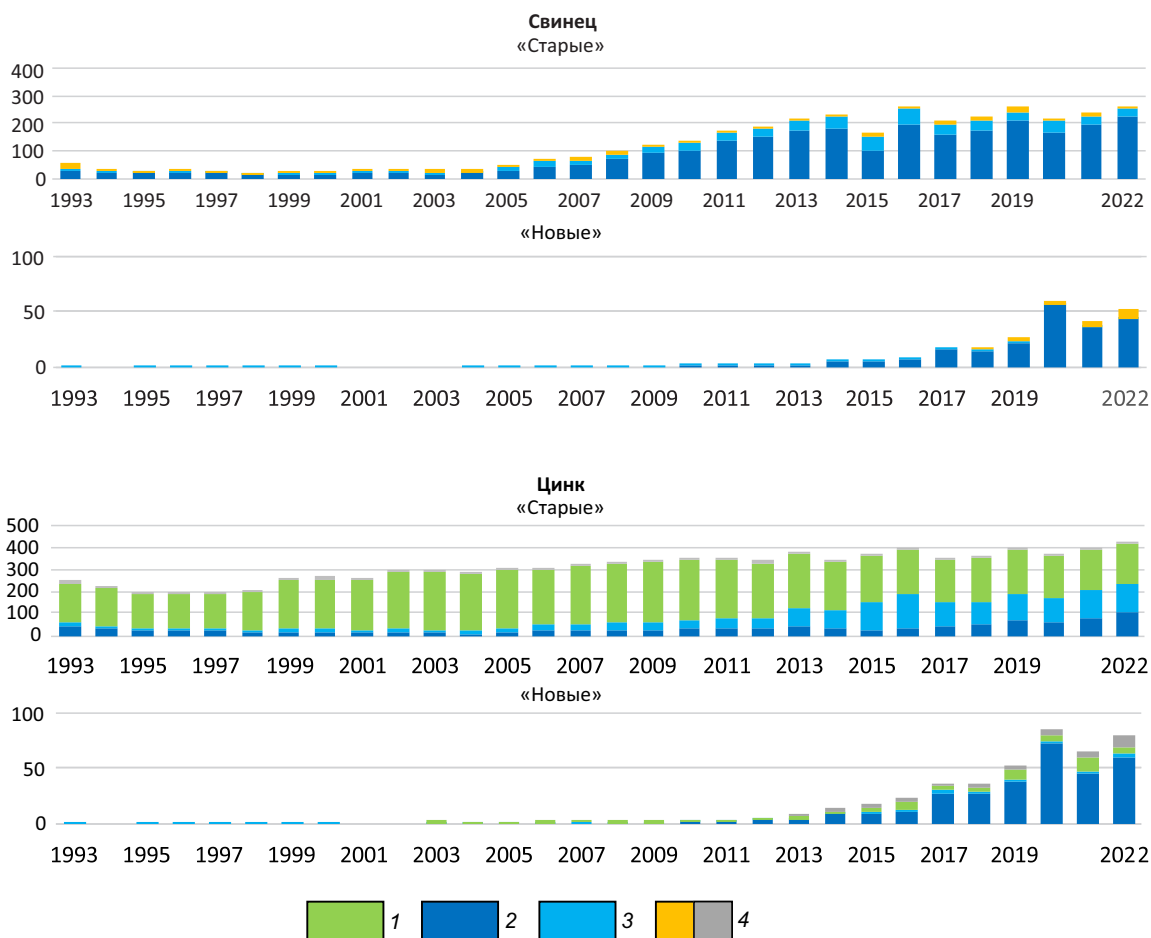


Рис. 4. Добыча свинца и цинка на «старых» и «новых» месторождениях и основные типы руд их обеспечившие, тыс. т:

типы руд: 1 – медноколчеданные, 2 – свинцово-цинковые, 3 – полиметаллические, 4 – прочие (для свинца и цинка имеют отличия)

3%. С 2014 г. начался их рост, который к 2022 г. соответственно достиг 16,7 и 14,4%.

Свинец. За исключением отдельных лет более половины добычи свинца на «старых» месторождениях обеспечивается эксплуатацией объектов свинцово-цинковых руд. В некоторые годы доля объектов этого типа руд превышала 80%, что главным образом было обусловлено разработкой Николаевского, а с 2001 г. Горевского месторождений, расположенных соответственно в Приморском и Красноярском краях (см. рис. 4). Колебания добычи на Горевском месторождении кратковременно влияли на усиление или ослабление доли месторождений других типов руд в общей добыче свинца.

Вторыми по значимости являются полиметаллические месторождения Приморского, Алтайского и Забайкальского краёв, Республики Тыва, суммарно их доля варьирует от 11,2 до 29,4%.

Месторождения, представленные остальными типами руд, в 1993–2007 гг. обеспечивали более 10% в общей добыче свинца, с 2008 г. их вклад составляет 3,5–9,8%. Это изменение вызвано наращиванием добычи на объектах основных промышленных типов руд (Горевское, Рубцовское, Кызыл-Таштыгское и др.).

В 1993–2000 и 2004–2009 гг. всю добычу из «новых» месторождений обеспечивало полиметаллическое Майминовское в Приморском крае. Приостановка добычи в 2001–2002 гг., а также

отсутствие свинца в добытой руде в 2003 г. на Майминовском месторождении соответствующим образом отразилось на доле «новых» месторождений в общей добыче свинца.

Начало эксплуатации в 2010 г. свинцово-цинкового месторождения Нойон-Тологой в Забайкальском крае вывело этот тип руд на ведущую позицию. Его доля в зависимости от года составляет 64,7–93,2%.

После начала отработки свинецсодержащего месторождения Вертикальное в 2014 г. в Республике Саха (Якутия) уже на следующий год вклад этого типа руд в добычу металла обеспечил ему устойчивое второе место.

В отношении добычи свинца также необходимо отметить следующее. Согласно данным Госдоклада «Состояние и использование минерально-сырьевых ресурсов...», в России последовательно в 2004 г. (металлургический цех в посёлке Рудная Пристань, АО «ГМК "Дальполиметалл"») и в 2005 г. (завод «АО "Электроцинк"») прекратили переработку свинцовых концентратов. Указанные предприятия сначала перешли на использование вторичного металла для производства свинца, а в последствии были закрыты: первое из-за износа оборудования, второе из-за произошедшего пожара. Планы по созданию новых производств в г. Бийске (переработка концентратов полиметаллических месторождений Алтайского края) и Сорске (передел концентратов Горевского месторождения) не были реализованы по экономическим и экологическим причинам. Остальные отечественные продуценты, специализирующиеся на выпуске металлического свинца из вторсырья (ООО «Экорусметалл» и др.), не проявляют интереса к созданию технологических линий по переделу свинцовых концентратов.

Основным фактором не востребоваемости продукции обогащения руд является развитие автомобильного рынка страны, внедрение и широкое распространение систем бесперебойного обеспечения электроэнергией в промышленной и бытовой сферах, которые позволили сформировать достаточный объём аккумуляторных батарей. Их импорт, прямой (батарей) и косвенный (в комплектации транспортных средств и в составе элементов оборудования), также способствует поддержанию этого объёма. Батареи по истечении срока службы поступают на переработку. При этом выпускаемый из вторичного сырья металлический свинец не только полностью покрывает

нужды отраслей промышленности, но и в виде излишков направляется на внешний рынок.

Возможное создание дополнительной технологической линии на предприятии АО «Челябинский цинковый завод», где осуществляется металлургический передел цинковых концентратов, а также на запланированном к запуску втором заводе ООО «Полимет Инжиниринг» в г. Верхний Уфалей, по примеру Усть-Каменогорского металлургического комплекса в Республике Казахстан [7], входившего в советский период в единую систему переработки руд, и на котором из концентратов цветных металлов выпускают металлические свинец, цинк, медь и драгоценные металлы, требует соответствующих инвестиций, применения передовых экологических технологий для минимизации воздействия на окружающую среду.

Согласно Стратегии развития металлургической промышленности РФ на период до 2030 г., утверждённой распоряжением Правительства РФ от 28 декабря 2022 г. № 4260-р, создание производства передела свинцовых концентратов не предусмотрено.

Дополнительным аспектом, снижающим возможное восстановление производственной цепочки выпуска свинца из руд, является начавшаяся и продолжающаяся в российский период разработка отдельных месторождений свинца и цинка, изначально ориентированных на экспортные поставки концентратов. Собственники этих месторождений имеют отлаженный сбыт продукции на внешний рынок и слабо заинтересованы в переработке не только свинцового, но и цинковых концентратов в России в силу различных причин.

Таким образом, осуществляемая эксплуатация месторождений свинца не влияет на обеспечение потребности экономики металлом. Наблюдается косвенный эффект в виде налоговых и неналоговых поступлений в фазе добычи, взимании экспортной пошлины при вывозе концентратов.

Отмеченные обстоятельства позволяют рассматривать хозяйственное освоение известных месторождений свинца, а также геологоразведочные работы по их выявлению, в зависимости от их промышленного типа, как источник получения отраслями экономики таких востребованных металлов, как цинк и медь, а производство свинцовых концентратов – «попутным» товарным продуктом, поставляемым на экспорт.

Цинк. Основным промышленным типом руд в добыче среди «старых» месторождений является

медноколчеданный (см. рис. 4). Однако значимость этого типа руд постепенно снижается, в 2021 г. его доля впервые стала менее половины и составила 46,1%.

Это обусловлено постепенной отработкой запасов медноколчеданных месторождений Урала (Учалинское, Молодежное и др.) при вовлечении в эксплуатацию свинцово-цинковых (Озерное и др.) и полиметаллических объектов (Степное, Корбалихинское и др.). Суммарная добыча на месторождениях последних двух типов руд обеспечивает им второе-третье место. Роль месторождений прочих типов руд в общей добыче цинка незначительная и в целом не превышает 3,7%.

На «новых» объектах в 1993–2000 гг. всю добычу обеспечивала разработка полиметаллического Майминового месторождения. После двухлетнего перерыва его отработка в 2003 г. возобновилась, однако ввод в этом году Камаганского месторождения изменил основной тип руд в структуре добычи с полиметаллического на медноколчеданный.

С 2010 г. большую часть добычи на «новых» месторождениях обеспечивает эксплуатация свинцово-цинкового месторождения Нойон-Тологой. Отработка месторождений прочих типов руд, начавшись в 2013 г., постепенно возрастала, в 2022 г. она вышла на второе место по значимости от общей добычи на «новых» объектах, опередив полиметаллический и медноколчеданный типы руд. Главный фактор её роста – начало эксплуатации цинкосодержащих серебряных месторождений (Вертикальное и др.).

Прогноз развития сырьевой базы. В среднесрочной перспективе, исходя из согласованных проектов освоения месторождений свинца и цинка (Госдоклад «Состояние и использование минерально-сырьевых ресурсов...»), публичной отчетности компаний-недропользователей и экспертной оценке по введению в эксплуатацию изучаемых в настоящее время объектов, прогнозируется волнообразное наращивание добычи этих металлов в РФ с последующим спадом к 2040 г. по мере исчерпания запасов эксплуатируемых месторождений. В динамику роста добычи свинца и цинка на «старых» месторождениях основной вклад внесут свинцово-цинковое Озерное, полиметаллическое Таловское, по цинку дополнительным фактором станет Ново-Учалинское, которое по 2029 г. изменит отмеченную тенденцию спада добычи металла на месторождениях этого типа руд.

Начало эксплуатации свинцово-цинкового Павловского и полиметаллического Талман обуславливает рост добычи свинца и цинка на «новых» месторождениях.

Всего в прогнозируемый период 2023–2040 гг. ожидается погашение 7743,1 тыс. т балансовых запасов свинца и 20911,7 тыс. т цинка (рис. 5). Для их компенсации, согласно определённому Стратегией уровню воспроизводства для этих металлов в 100%, за 2023–2040 г. необходимо восполнить указанные значения погашения запасов. А с учётом отмеченной недостаточности прироста запасов показатели воспроизводства составят по свинцу 9919,6 тыс. т и по цинку 23674,9 тыс. т.

Исходя из анализа ретроспективы, уже стоящие на Госбалансе месторождения, как «старые», так и «новые», только отчасти могут решить поставленную задачу при их дальнейшей разведке, включая фланги и глубокие горизонты, и возможной переоценке ранее подсчитанных блоков.

Основным фактором воспроизводства сырьевой базы являются геологоразведочные работы, направленные на выявление «новых» месторождений свинца и цинка, при этом их интенсивность должна быть выше периода 1993–2022 гг. Заделом воспроизводства запасов свинца и цинка является выявленный ресурсный потенциал, однако он характеризуется рядом особенностей как по количеству учтённых объектов, на которых апробированы прогнозные ресурсы наиболее достоверных категорий P_1 и P_2 , так и по геолого-промышленным типам.

Для оценки количества подготовленных прогнозных ресурсов свинца и цинка нами они с использованием статистически-обоснованных коэффициентов (0,7 для категории P_1 и 0,42 для категории P_2) [1] пересчитаны в категорию условных запасов C_2 .

На начало 2023 г. Сборником прогнозных ресурсов твёрдых и твёрдых горючих (уголь) полезных ископаемых Российской Федерации (далее Сборник) [4] учтены 103 объекта, на которых апробированы ресурсы (АПР) свинца категорий P_1 или P_2 или сразу обеих категорий, для цинка таких объектов 153. По двум объектам в результате ГРП АПР перешли в запасы, рудопроявления Талман (Pb и Zn) и Новопетровское (Zn) (*прим. экспертно на основе данных протоколов ГКЗ от 2022 г. № 7249 и 2023 г. № 7420*), в связи с чем они исключены из дальнейшего расчёта.

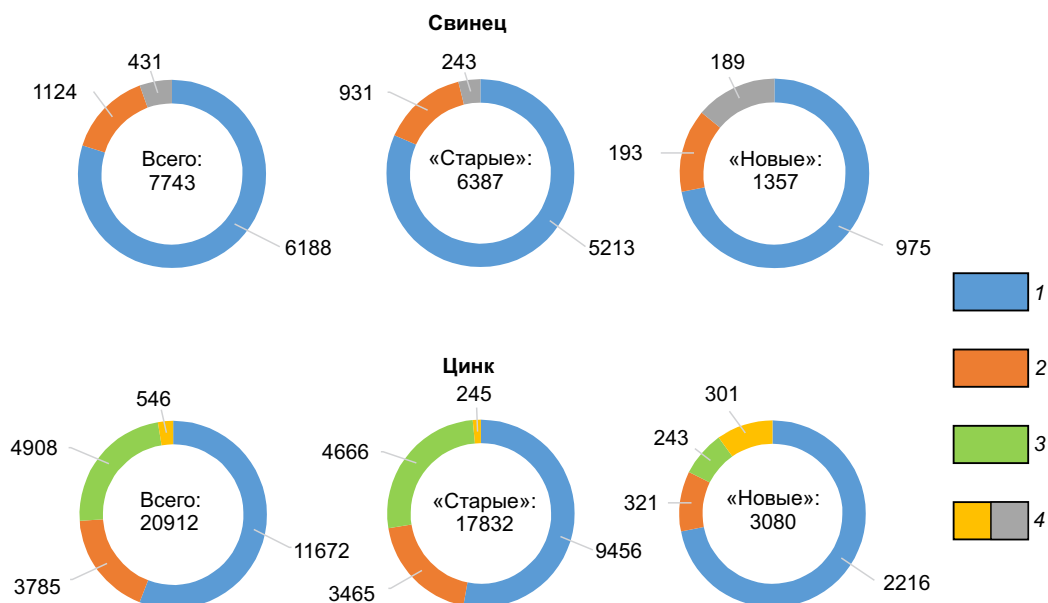


Рис. 5. Прогнозируемое погашение запасов свинца и цинка в 2023–2040 гг. с детализацией по вкладу «старых» и «новых» месторождений и их промышленным типам руд, тыс. т (округлено до целых):

типы руд: 1 – свинцово-цинковые, 2 – полиметаллические, 3 – медноколчеданные, 4 – прочие (для свинца и цинка имеют отличия)

В результате приведения остальных объектов к условным запасам категории C_2 с использованием статистически-обоснованных коэффициентов [1] оценено вероятное их суммарное значение для свинца в 7074,2 тыс. т и цинка 22271,3 тыс. т при условии успешного завершения геологоразведочных работ на каждом объекте. Как показал анализ [1], при переводе прогнозных ресурсов в вышестоящие категории и запасы (P_2 в P_1 , P_1 в C_2) вероятность такого завершения составляет 50%, что значительно снижает приведённое значение возможных полученных из прогнозных ресурсов запасов категории C_2 .

Для более детального анализа перспектив выявления промышленных объектов на рудопроявлениях с апробированными прогнозными ресурсами учтены их геолого-промышленные типы.

В соответствии с данными документов апробации 103 ресурсных объекта свинца экспертно объединены в три типа, представленные ниже, для каждого в порядке снижения приведены значения ресурсного потенциала в условных запасах категории C_2 :

- *Свинцово-цинковый тип.* В эту группу входят 44 свинцово-цинковых объекта, подразделяе-

мые на стратиформные, жильные, со скарнами, а также 2 колчеданно-полиметаллических объекта Горевского рудного узла – в Госбалансе одноимённое месторождение является свинцово-цинковым. Суммарный ресурсный потенциал этих сорока шести объектов составляет 3487 тыс. т свинца.

- *Полиметаллический тип* включает 40 объектов с общим ресурсным потенциалом в 2525,1 тыс. т свинца следующих типов: колчеданно-полиметаллический, медно-свинцово-цинковый стратиформный, полиметаллический и полиметаллический с серебром. По промышленному типу эта группа объектов соответствует полиметаллическим месторождениям.

- *Золото-серебро-полиметаллический тип* представлен серебро-полиметаллическими, золото-серебро-полиметаллическими, золото-серебряными и золото-кварц-сульфидными объектами, всего 17, которые суммарно содержат 1062,1 тыс. т свинца.

Поскольку воспроизводство сырьевой базы свинца, как показал анализ, определяется главным образом постановкой в результате ГРП на государственный учёт крупных и средних месторождений,

то из 103 объектов по количеству учтённых на них прогнозных ресурсов этого металла только 26 можно отнести к значимым. Из-за неоднородности индивидуальных значений 26 объектов распределены по четырём количественным группам (в тыс. т): 84–119, 140–177, 215–295, 378–588; а их суммарные условные запасы свинца категории C_2 составляют 5105,3 тыс. т (рис. 6).

Распределение значений по геолого-промышленным типам (см. рис. 6) дополнительно показывает, что основной вклад в прирост запасов свинца (доразведка известных месторождений, выявление «новых») могут обеспечить свинцово-цинковые и полиметаллические объекты, у которых основная часть ресурсного потенциала в условных запасах категории C_2 , 2187,5 (62,7 %) и 1658,2 тыс. т

(65,7 %), сосредоточены в группах 140–177, 215–295 (только полиметаллические), 378–588 тыс. т.

Для 153 объектов с АПР цинка, помимо свинцово-цинкового, полиметаллического и золото-серебро-полиметаллического типов, также выделен медноколчеданный, который является третьим по значимости ресурсного потенциала в условных запасах категории C_2 .

В его состав входят 46 объектов следующих типов: медноколчеданные, медно-цинково-колчеданные и медно-цинково-колчеданные золотосодержащие; их суммарный ресурсный потенциал составляет 5346,4 тыс. т цинка.

В отличие от свинца, в цинке ведущее положение занимают 47 объектов полиметаллического типа (9172,2 тыс. т), далее следуют 48 свинцово-

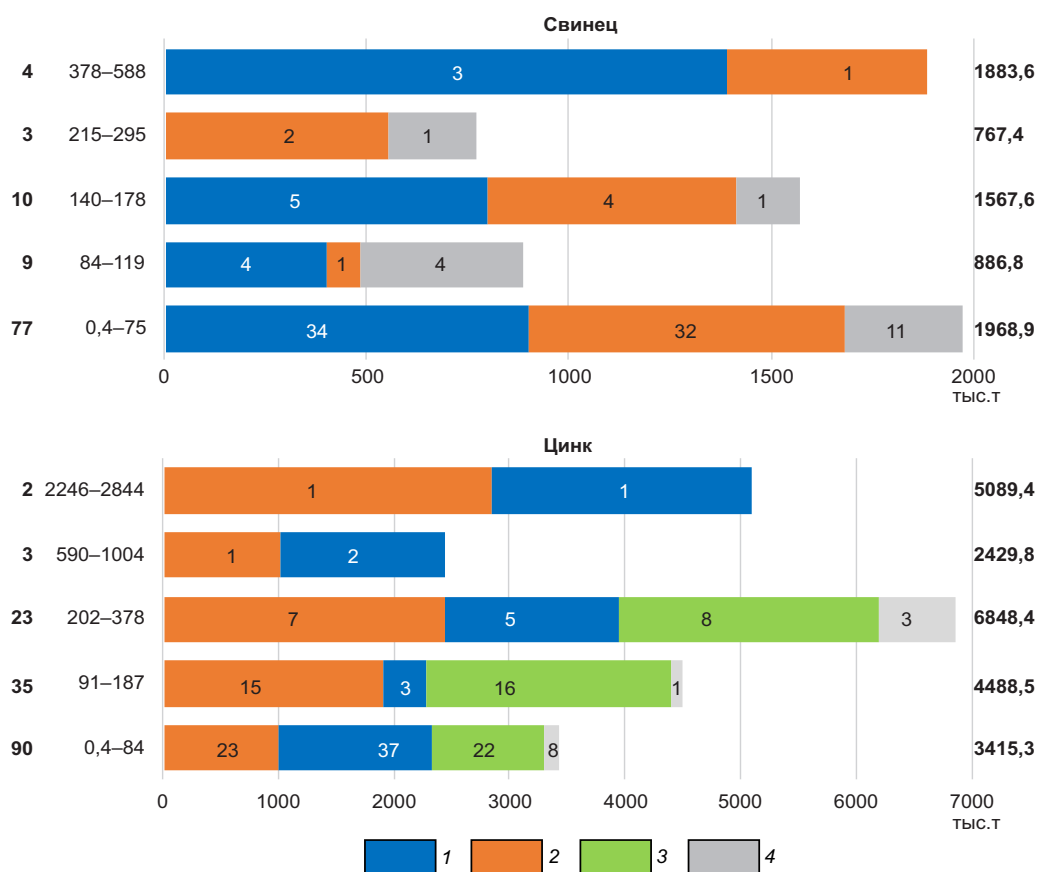


Рис. 6. Распределение прогнозных ресурсов свинца и цинка в условных запасах кат. C_2 по типам руд, количеству объектов учёта и их крупности, тыс. т:

значения слева – всего объектов в каждой группе, справа – всего ресурсов в условных запасах кат. C_2 (тыс. т); типы руд: 1 – свинцово-цинковые, 2 – полиметаллические, 3 – медноколчеданные, 4 – золото-серебро-полиметаллические

цинковых объектов (6870,8 тыс. т), после – 46 медноколчеданных (5346,4 тыс. т), замыкают ряд 12 объектов золото-серебро-полиметаллического типа (882 тыс. т).

Количество значимых объектов с АПР цинка – 63, они распределены между четырьмя группами (тыс. т): 91–187, 202–378, 590–1004, 2246–2844.

Распределение ресурсного потенциал цинка по геолого-промышленным типам (см. рис. 6) также показывает, что основной вклад в прирост запасов (доразведка известных месторождений, выявление «новых») могут обеспечить полиметаллические и свинцово-цинковые объекты, у которых основная часть этого ресурсного потенциала в условных запасах категории C_2 , 6275,6 (68,4 %) и 5176,6 тыс. т (75,3 %), сосредоточены в группах 202–378, 590–1004, 2246–2844 тыс. т.

У медноколчеданного типа потенциал наращивания запасов цинка ниже из-за концентрации основного количества условных запасов категории C_2 (4374,8 тыс. т) в двух группах 91–187 и 202–378 тыс. т, что лишь отчасти может укрепить сырьевую базу близлежащих разрабатываемых или подготавливаемых к отработке медноколчеданных месторождений.

Таким образом, имеющийся ресурсный потенциал в целом ограничен для воспроизводства балансовых запасов свинца и цинка. Для его восполнения значимыми объектами категорий P_1 и P_2 требуется усиление работ ранних стадий за счёт

средств федерального бюджета на перспективных площадях с прогнозными ресурсами категории P_3 .

Важным направлением является проведение прогнозно-минерагенических работ в пределах слабоизученных территорий, направленных на локализацию площадей, перспективных для постановки поисковых работ на выявление объектов свинцово-цинковых, полиметаллических и медноколчеданных руд.

Резюме. Отечественная минерально-сырьевая база свинца и цинка значительна, большая часть месторождений с балансовыми запасами передана в недропользование. В 1993–2022 гг. вследствие высокой результативности геологоразведочных работ поставлены на государственный учёт 22 «новых» месторождения с балансовыми запасами свинца и 36 цинка. Основной вклад в воспроизводство балансовых запасов обеспечили «новые» месторождения свинцово-цинкового и полиметаллического типов. Прогнозируемый в 2023–2040 гг. объём добычи уменьшит известные запасы сырьевой базы свинца и цинка. Имеющийся ресурсный потенциал только частично может восполнить прогнозируемое при добыче погашение запасов. Для эффективного наращивания сырьевой базы свинца и цинка необходимо усиление работ ранних стадий (прогнозно-минерагенических), направленных на выделение перспективных площадей для проведения поисковых работ и выявления перспективных объектов с прогнозными ресурсами высоких категорий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иванов А. И., Черных А. И., Вартанян С. С. Состояние, перспективы развития и освоения минерально-сырьевой базы золота в Российской Федерации // Отечественная геология. – 2018. – № 1. – С. 18–28.
2. Методические рекомендации по применению Классификации запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых. Свинцовые и цинковые руды. – 2007. – 42 с.
3. Постановление Правительства Российской Федерации от 1 марта 2023 г. № 355 «О государственной экспертизе запасов полезных ископаемых и подземных вод, геологической информации о предоставляемых в пользование участках недр, об определении размера и порядка взимания платы за ее проведение».
4. Прогнозные ресурсы твердых и твердых горючих (уголь) полезных ископаемых Российской Федерации на 1 января 2023 года : Сборник. – Выпуск 1 «Черные, цветные, редкие металлы и уран». – М. : ФГБУ «Росгеолфонд», 2023. – 282 с.
5. Государственный баланс запасов полезных ископаемых Российской Федерации (Свинец, Цинк) [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.rfgf.ru/bal/> (дата обращения 25.10.2023)
6. Государственный кадастр месторождений. Объект учета Саурейское [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.rfgf.ru/gkm/itemview.php?id=1146> (дата обращения 20.02.2024)
7. Усть-Каменогорский металлургический комплекс [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.kaz>

- zinc.com/rus/o-proizvodstve/predpriyatiya/ust-kamenogorskij-metallurgicheskij-kompleks (дата обращения 15.01.2024)
8. *Anuario Minero 2022*. Ministerio de Energía y Minas [Электронный ресурс]. – URL: www.gob.pe/minem (дата обращения 05.08.2023)
 9. *Australia's Identified Mineral Resources 2022*. Geoscience Australia, Canberra [Электронный ресурс]. – URL: <https://dx.doi.org/10.26186/147673>. (дата обращения 15.04.2023)
 10. *China Mineral Resources 2022*. Ministry of Natural Resources, PRC [Электронный ресурс]. – URL: http://www.chinaminingtj.org/images/document/2022/CM_Resources2022_en.pdf (дата обращения 09.04.2024)
 11. *Mineral Commodity Summaries 2023* [Электронный ресурс]. – URL: <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2023/mcs2023.pdf> (дата обращения 01.03.2023)
 12. *Press Releases – International Lead and Zinc Study Group* [Электронный ресурс]. – URL: www.ilzsg.org (дата обращения 02.03.2023)
 13. *Trade Map*. Trade statistics for international business development [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.trademap.org/Index.aspx> (дата обращения 11.08.2023)

REFERENCES

1. *Ivanov A. I., Chernykh A. I., Vartanyan S. S.* Sostoyaniye, perspektivy razvitiya i osvoyeniya mineral'no-syr'yevoy bazy zolota v Rossiyskoy Federatsii [Status, prospects for the development and development of the mineral resource base of gold in the Russian Federation]. *Otechestvennaya geologiya* [Domestic geology], 2018, No. 1, pp. 18–28. (In Russ.)
2. *Metodicheskiye rekomendatsii po primeneniyu Klassifikatsii zapasov mestorozhdeniy i prognoznykh resursov tverdykh poleznykh iskopayemykh. Svintsovye i tsinkovyie rudy* [Methodological recommendations for the application of the Classification of deposit reserves and predicted resources of solid minerals. Lead and zinc ores], 2007, 42 p. (In Russ.)
3. *Postanovleniye Pravitel'stva Rossiyskoy Federatsii ot 1 marta 2023 g. No. 355 «O gosudarstvennoy ekspertize zapasov poleznykh iskopayemykh i podzemnykh vod, geologicheskoy informatsii o predostavlyayemykh v pol'zovaniye uchastkakh nedr, ob opredelenii razmera i poryadka vzimaniya platy za yeye provedeniye»* [Decree of the Government of the Russian Federation of March 1, 2023 No. 355 “On the state examination of mineral reserves and groundwater, geological information on subsoil areas provided for use, on determining the amount and procedure for collecting fees for its implementation”]. (In Russ.)
4. *Prognoznnyye resursy tverdykh i tverdykh goryuchikh (ugol') poleznykh iskopayemykh Rossiyskoy Federatsii na 1 yanvarya 2023 goda : Sbornik* [Forecast resources of solid and solid combustible (coal) minerals of the Russian Federation as of January 1, 2023: Col-
lection], Issue 1 “Ferrous, non-ferrous, rare metals and uranium”, Moscow, FGBU Rosgeolfond publ., 2023. – 282 s. (In Russ.)
5. *Gosudarstvennyy balans zapasov poleznykh iskopayemykh Rossiyskoy Federatsii (Svinets, Tsink)* [State balance of mineral reserves of the Russian Federation (Lead, Zinc)], available at: <https://www.rfgf.ru/bal/> (25.10.2023)
6. *Gosudarstvennyy kadastr mestorozhdeniy. Ob»yekt ucheta Saureyskoye* [State cadastre of deposits. Accounting object Saureyskoye], available at: <https://www.rfgf.ru/gkm/itemview.php?id=1146> (20.02.2024)
7. *Ust'-Kamenogorskiy metallurgicheskij kompleks* [Ust-Kamenogorsk metallurgical complex], available at: <https://www.kazzinc.com/rus/o-proizvodstve/predpriyatiya/ust-kamenogorskij-metallurgicheskij-kompleks> (15.01.2024)
8. *Anuario Minero 2022*. Ministerio de Energía y Minas, available at: www.gob.pe/minem (05.08.2023)
9. *Australia's Identified Mineral Resources 2022*. Geoscience Australia, Canberra, available at: <https://dx.doi.org/10.26186/147673>. (15.04.2023)
10. *China Mineral Resources 2022*. Ministry of Natural Resources, PRC, available at: http://www.chinaminingtj.org/images/document/2022/CM_Resources2022_en.pdf (09.04.2024)
11. *Mineral Commodity Summaries 2023*, available at: <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2023/mcs2023.pdf> (01.03.2023)
12. *Press Releases – International Lead and Zinc Study Group*, available at: www.ilzsg.org (02.03.2023)
13. *Trade Map*. Trade statistics for international business development, available at: <https://www.trademap.org/Index.aspx> (11.08.2023)

Статья поступила в редакцию 03.04.24; одобрена после рецензирования 27.04.24; принята к публикации 27.04.24.
The article was submitted 03.04.24; approved after reviewing 27.04.24; accepted for publication 27.04.24.

Геолого-структурная позиция и генезис золоторудного месторождения Совиное (Чукотка)

По результатам проведённых геологоразведочных работ уточнены условия локализации крупного золото-кварцевого месторождения Совиное. Установлено, что рудные тела жильного и штокверкового типов приурочены к пологим шарьяжно-надвиговым зонам на участках их пересечения крутопадающими разрывными нарушениями. Рудоотложение протекало на фоне длительных тектонических подвижек при участии золотоносных флюидов, поступавших из глубинных магматических очагов, обогащённых метаном и углекислотой на этапе активизации орогена. Флюидный поток приурочен к разломам глубинного заложения и являлся основной причиной преобразования тектонизированных терригенно-осадочных пород в углеродистые сланцы и формирования кварцево-жильного золотого оруденения.

Ключевые слова: золото-кварцевое месторождение Совиное, флюидный поток, золотое оруденение, разрывные нарушения.

ЛАДНЫЙ ОЛЕГ САВЕЛЬЕВИЧ, руководитель Управления проектами Дирекции стратегического развития, OSladnyy@armz.ru

АО «Эльконский ГМК», г. Москва

Geological-structural position and genesis of the Sovinoe gold ore deposit in Chukotka

O. S. LADNY

AO "Elkonsky GМК", Moscow

The localization conditions for the large Sovinoe gold-quartz deposit were clarified based on results of the geological exploration. It has been ascertained that the vein- and stockwork-type ore bodies are confined to gentle tectonic nappe zones in sites where they are crossed by steeply dipping faults. Ore deposition occurred under conditions of long-term tectonic movements, with participation of gold-bearing fluids enriched in methane and carbon dioxide, coming from deep-seated magmatic chambers at the stage of the orogen activation. The fluid flow was confined to deep-seated faults and represented the main factor for the transformation of tectonized terrigenous-sedimentary rocks into carbonaceous shales and for the formation of quartz-veined gold mineralization.

Key words: Sovinoe gold-quartz deposit, fluid flow, gold mineralization, faults.

Введение. В течение 1960-х гг., вслед за разведкой и освоением Ичуевемских россыпей, дошла очередь и до бассейнов рек Пильхинкууль и Рывеем, где довольно быстро были разведаны уникальные по масштабам и богатству россыпи, впоследствии давшие название Пильхинкууль-Рывеемскому золотоносному узлу (ПРЗУ). В течение сорока последующих лет здесь были добыты около 300 т россыпного золота.

До начала 1970-х гг. основной целью геологических исследований, несмотря на их комплексный характер, была оценка перспектив россыпной золотоносности, а коренные проявления золоторудной минерализации и вмещающих её структур рассматривались как поисковый признак для прогнозирования россыпей с учётом геоморфологической ситуации. Все исследователи отмечали, что золотоносность связана с жилами

кварцевого, кварц-сульфидного и кварц-карбонатного состава, а также с особым типом минерализации – зонами кварцевого прожилкования, субсогласными слоистости пород. Однако перспективы выявления коренных месторождений считались низкими.

В дальнейшем, когда были разведаны россыпи бассейнов рек Рывеем и Пильхинкууль, всё больше исследований было направлено на оценку коренной золотоносности. При этом в геологической среде производственного объединения «Севостгеология», которое объединяло 16 экспедиций Магаданской области (включая Чукотский АО), по отношению к коренной золотоносности существовало устойчивое представление о том, что в районах россыпных узлов поиски крупных месторождений коренного золота бесперспективны в связи с их «эродированностью». В тот

период в производственных отчётах при оценке золотоносности придавалось большое значение морфоструктурному анализу территории с целью определения уровня эрозионного среза коренных источников как индикаторов россыпей.

Тем не менее в 1980-х гг. была разработана модель гидротермального рудообразования в пределах ПРЗУ, основанная на результатах изучения рудопоявлений Рывеемское, Совиное, Дор (В.С. Стрешневский и др., 1975 ф, 1980 ф, О.С. Ладный и др., 1987 ф, А.А. Устинов и др. 1989 ф). В основу модели положены главные критерии коренной золотоносности: наличие гранитоидной интрузии – поставщика золота в гидротермы и доинтрузивных (дорудных) разрывных нарушений глубокого заложения северо-западного простирания, контролирующего размещение раннетриасового габброидного и раннемелового гранитоидного магматизма, играющих роль рудопроводящих каналов. Особая роль отводилась поперечным к генеральному направлению складчатости северо-восточным глубинным разломам, которые при пересечении с северо-западными нарушениями являлись благоприятными структурами для локализации оруденения. Меньшая роль отводилась литологическому критерию: наличию терригенных толщ с повышенной известковистостью и углеродистостью как осадителей золота из растворов и существенно песчаниковых отложений палеозоя, чувствительных к деформациям и благоприятных для формирования трещин растяжения и скола при образовании складчатости и миграции гидротермальных растворов.

В генетическом отношении была принята модель метаморфогенно-гидротермальной природы оруденения, обосновывалась генетическая и парагенетическая связь как с осадочными сульфидизированными комплексами, обогащёнными органическим веществом, так и с гранитоидным магматизмом. Магматические породы в районе месторождения Совиное неизвестны, однако по геофизическим данным на глубине предполагался гранитный интрузив.

Оценочные работы на рудопоявлении Совиное (Э.С. Алдаков, 1996 ф), проведённые в 1990-х гг. одновременно с рядом тематических исследований отрядами ЦКТЭ СВПО, Магаданского филиала ХПИ, СВФ ЦНИГРИ, САИГИМСА, позволили изучить многие вопросы процесса рудообразования, формирования структур рудных полей и разработать подход к пониманию золото-

носности рудного узла в целом. Сотрудниками Среднеазиатского института (САИГИМС) Х.К. Каримовым (1992 ф) и П.А. Мухиным (1993 ф) было высказано предположение о наличии на площади крупных зон пологих дислокаций, намечена этапность их формирования и указаны пространственно-временные связи этих структур с золотым оруденением.

С этого момента в научной литературе [2–7] появилось и надолго устоялось представление о месторождении Совиное как о типичном золоторудном объекте жильного типа, локализованном в замке и северо-западном крыле Рывеемской антиклинальной складки, образованной терригенно-карбонатными отложениями среднего карбона на пересечении разломов северо-восточного и северо-западного простирания. Рудные тела рассматривались как золотоносные кварцевые жилы, приуроченные к замку складки в углистых терригенных породах (переслаивание тонкозернистых песчаников с углистыми сланцами), интенсивно смятых и будинированных. Были выделены две разновозрастные группы кварцевых жил: безрудные кварцевые с пиритом и кальцитом и рудные арсенопирит-кварцевые с золотом. Последние имеют седловидную форму и аналогичны жилам месторождения Бендиго (рис. 1). При этом, по описанию тех же исследователей, жилы могут представлять собой кварцево-жильные тела сложной морфологии на крыльях и в замках мелких антиклинальных складок, в пластично-смятых и милонитизированных сланцевых толщах в зоне разлома. Протяжённость подобных рудных кварцево-жильных тел оценивалась от 120 до 800 м при мощности 0,3–2,5 м [3].

Следующая попытка оценки месторождения Совиное была предпринята в 2008–2009 гг. компанией Highland Gold Mining с целью представить золоторудный объект в виде штокверка – крупнообъёмного месторождения. По сути, по результатам предыдущих работ было выполнено оконтуривание минерализованной части жильной системы средствами ГИС-моделирования с рядом допущений. Была получена каркасная модель, включавшая все ранее установленные рудные пересечения, однако проведённая на тот момент технико-экономическая оценка не позволила подтвердить промышленную значимость месторождения. К тому же положение смоделированной минерализованной зоны не вписывалось в ранее предложенную структуру антиклинальной складки.

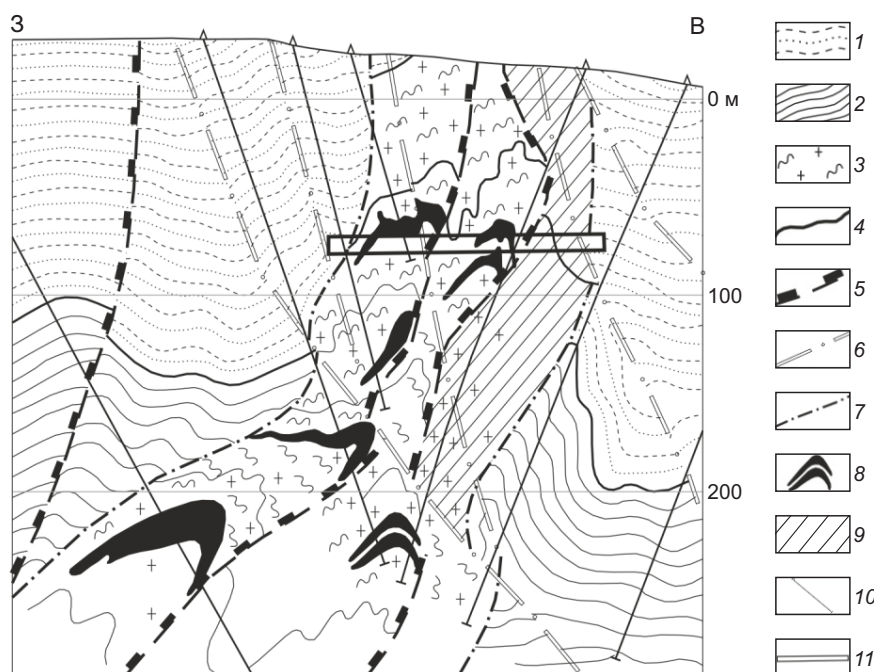


Рис. 1. Структура месторождения Совиное, профиль 56, по [3]:

1 – известковистые песчаники; 2 – сланцы; 3 – рудовмещающая зона динамометаморфизма; 4 – литологические границы; 5 – сбросо-сдвиги; 6 – сбросы; 7 – надвиги; 8 – седловидные рудные тела; 9 – предполагаемый штокверк; 10 – скважины; 11 – квершлаг

В 2020–2023 гг. геологическим подразделением АО «Эльконский ГМК» (дочерняя структура АО «АРМЗ») на месторождении Совиное был выполнен комплекс поисково-оценочных работ для расшифровки структурного положения оруденения и обоснования модели объёмного штокверка. Работы включали магнито- и электроразведку, геолого-структурное картирование, проходку скважин колонкового бурения, изотопно-геохимические и термобарогеохимические исследования. Высокоточная магнитная съёмка в комплексе с электроразведочными методами ВП-СГ (электроразведка методом ВП с установкой срединного градиента) и ЭТ-ВП (электроразведка методом ВП в варианте электротомографии) позволила существенно уточнить геологическое строение рудного поля. В результате подтверждена штокверковая модель месторождения Совиное, которое по утверждённым запасам отнесено к крупным объектам.

В данной статье приводятся результаты выполненных исследований, на основе которых пересмотрены концепция структуры месторождения Совиное и условия его формирования.

Позиция месторождения в региональных структурах. Тектоника и структура ПРЗУ (рис. 2) определяются его положением на сочленении юго-восточного окончания Куульского поднятия и Экиатапского синклиория в составе Чукотской складчатой области, в тыловой части Охотско-Чукотского вулканического пояса (С. Г. Кряжев, 2023 ф). В его пределах выделяются три структурных этажа, характеризующихся различной ориентировкой складчатых структур.

Нижний структурный этаж сложен девонскими и раннекаменноугольными терригенными флиш-идными формациями. Преобладающая ориентировка складчатых деформаций в нижнем этаже северо-северо-восточная и субширотная.

Средний структурный этаж сложен терригенными породами пермско-триасового возраста, залегающими на подстилающих образованиях нижнего структурного яруса со стратиграфическим перерывом и угловым несогласием. Генеральная ориентировка складчатости – северо-западная.

Верхний структурный этаж включает верхнемеловые вулканиды и нелифитизированные осадки более позднего времени. На подстилающих по-

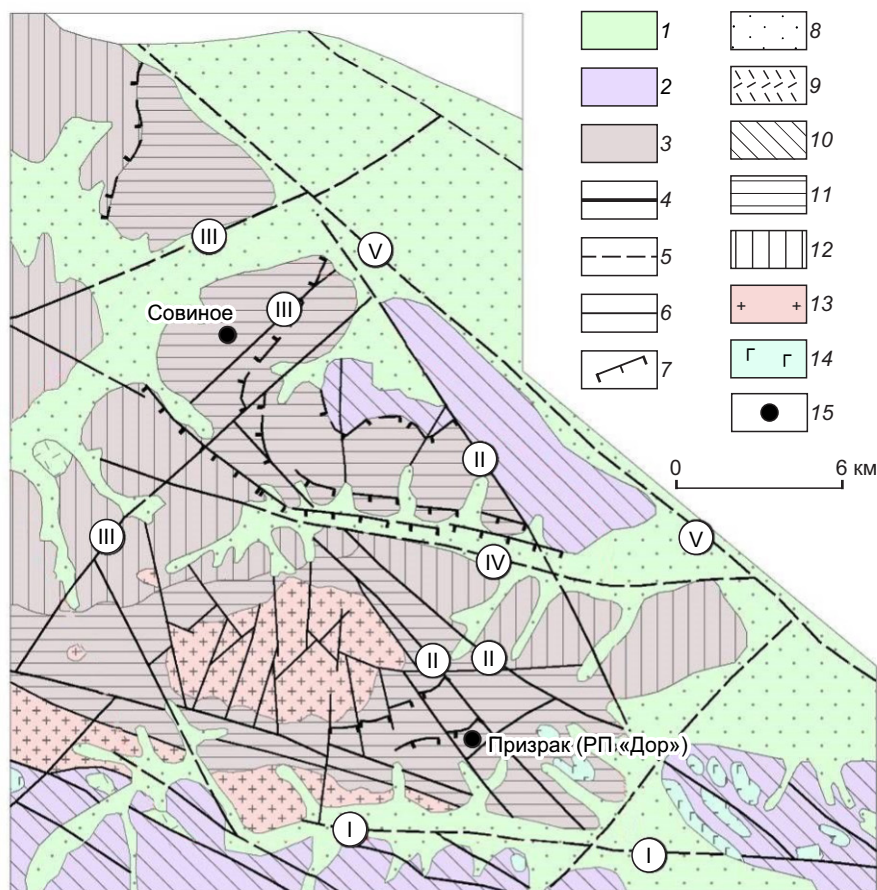


Рис. 2. Структурно-тектоническая схема Пильхинкууль-Рывеемского золотоносного узла:

1–3 – структурные этажи: 1 – верхний, 2 – средний, 3 – нижний; 4–7 – разломы: 4 – основные (сбросы, сдвиги), 5 – основные под чехлом рыхлых отложений, 6 – второстепенные, 7 – надвиги; 8–14 – формации и комплексы: 8 – четвертичные рыхлые отложения, 9 – позднемеловая туфогенно-вулканогенная трахидацит-риолитовая формация, 10 – пермско-раннетриасовая терригенная флишевая формация, 11 – нижнекаменноугольная известковисто-углеродисто-терригенная флишевая формация, 12 – девонские карбонатно-терригенные формации, 13 – ранне-меловые гранитоидные комплексы Эмнункэннингтунского и Экийчугэвеемкайского (Велиткенайского) массивов, 14 – раннетриасовый габбро-диабазовый комплекс; 15 – золото-кварцевые месторождения и рудопроявления

родах нижнего и среднего структурных этажей образования верхнего этажа лежат со стратиграфическим перерывом и резким угловым несогласием.

Складчатая структура ПРЗУ характеризуется простыми формами. К юго-востоку от Рывеемских разломов и к югу толщи имеют пологое южное падение с углами 10–45°, практически моноклинальное. Развита мелкая складчатость высоких порядков, широтного и северо-западного простирания, осложняющая строение более крупных структур, образующих юго-восточный фланг Кульского антиклинария. В зоне влияния Рывеем-

ских разломов и к западу от них ориентировка осей складок меняется на меридиональную, северо-западную. По всей территории погружение осевых плоскостей складчатых элементов южное и юго-западное, подчиняется простиранию предполагаемых структур пологих дислокаций.

Складчатые структуры ПРЗУ осложнены разрывными нарушениями: Нижне-Куэкувунским глубинным разломом, Пильхинкуульским разломом, Вочватапской зоной глубинных разломов, Приморским глубинным разломом и Рывеемской зоной разломов. Первые два – субширотные, Вочватапская зона и Приморский разлом – северо-

западной ориентировки, Рывеевская зона – северо-восточного направления. Наиболее древними по заложению считаются зоны пологих деформаций, сопряжённые с ними субширотные разломы и региональные структуры северо-западного простирания, наиболее молодыми – северо-восточные и субмеридиональные третьего порядка. Зоны региональных разломов имеют сложное внутреннее строение, обусловленное развитием внутри них сложно построенных кулисообразных систем дислокаций и шарьяжных структур.

Образование геологической структуры ПРЗУ и становление его металлогенической специализации происходило в несколько этапов. С конца 1990-х гг. прошлого столетия сложились общие представления о геодинамической модели формирования металлогенического облика Северо-Востока Азии, базирующиеся на позициях аккреционной тектоники [8]. Согласно этой модели, границы металлогенических эпох связаны с периодами крупных тектонических перестроек территории, сопровождавшихся сменой геодинамических обстановок. Таких эпох было выделено семь: доаккреционные (рифейская, вендско-силурийская, ранне-, среднедевонская, среднедевонско-раннекаменноугольная, среднекаменноугольно-среднеюрская), синаккреционная (среднеюрско-раннемеловая) и постаккреционная (раннемеловая-палеогеновая). На территории Чукотской складчатой области в той или иной мере проявлены все эпохи, но наиболее чётко история формирования геологических структур и металлогении прослеживается начиная со среднедевонско-раннекаменноугольной эпохи.

Основные этапы развития узла, важные в связи с формированием золото-кварцевого оруденения, представляются следующим образом.

Накопление первично-осадочных терригенных флишевых отложений раннего карбона происходило в условиях континентального склона, о чём могут свидетельствовать текстурно-структурные особенности отложений, характерные для мутьевых потоков (градационная слоистость, косая слоистость, конседиментационные брекчии, плохая сортировка песчаного материала) относительно мелководного бассейна, сформированного на девонском основании в эпоху окраинно-континентального рифтогенеза в раннем карбоне. Одновременно с седиментогенезом, диагенезом и катагенезом осадков происходили формирование сингенетичной сульфидной минерализации и, воз-

можно, накопление золота. Рудоносные растворы в условиях рифтогенеза и рассеянного спрединга дна прогибов могли поступать по системам долгоживущих разломов основания. К седиментогенной минерализации пород относятся единичные каплевидные обособления пирротина, халькопирита, встречающиеся в обломках пород и реликтах породообразующих минералов, фрамбонды пирита, тяготеющие к скоплениям углистого вещества, редкая, неравномерная вкрапленность идиоморфных кристаллов ильменита, магнетита, рутила в цементирующей массе обломочных пород. Из-за последующих изменений рудная минерализация данного этапа носит реликтовый характер.

В конце палеозоя территория вовлекается в процессы герцинского орогенеза и складкообразования. Происходят закрытие каменноугольных бассейнов седиментации, активизация глубинных разломов, раскол единого до мезозоя палеозойского основания на отдельные блоки (террейны). По-видимому, на этом этапе происходило заложение зон пологих деформаций в осадочных породах, сопряжённых с ними субширотных зон разломов. Палеозойские толщи первично-осадочных пород подверглись на данном этапе региональному зеленосланцевому метаморфизму и локальному динамометаморфизму в зонах интенсивных тектонических деформаций с формированием складок, шарьяжно-надвиговых дислокаций, регионального расланцевания, зон дробления, характеризующихся повышенной проницаемостью для метаморфогенно-гидротермальных растворов.

Структура рудного поля и месторождения Совиное. По данным геофизических работ установлено, что месторождение локализуется в восточном крыле синклинали складки, ось которой прослеживается по правобережью р. Рывеев в северо-восточном направлении с разворотом на северо-запад в верховьях руч. Интеграл. Складка образована породами раннего карбона, в составе которых по характеру поля магнитной восприимчивости выделены несколько пачек и маркирующий магнитный горизонт, хорошо подчёркивающий характер залегания синклинали (рис. 3).

Минерализованная зона прослеживается к северу и югу от центральной части месторождения вдоль системы северо-восточных разломов (Рывеевских) с разворотом на северо-запад на северном продолжении структуры. С востока она ограничена зоной надвига.

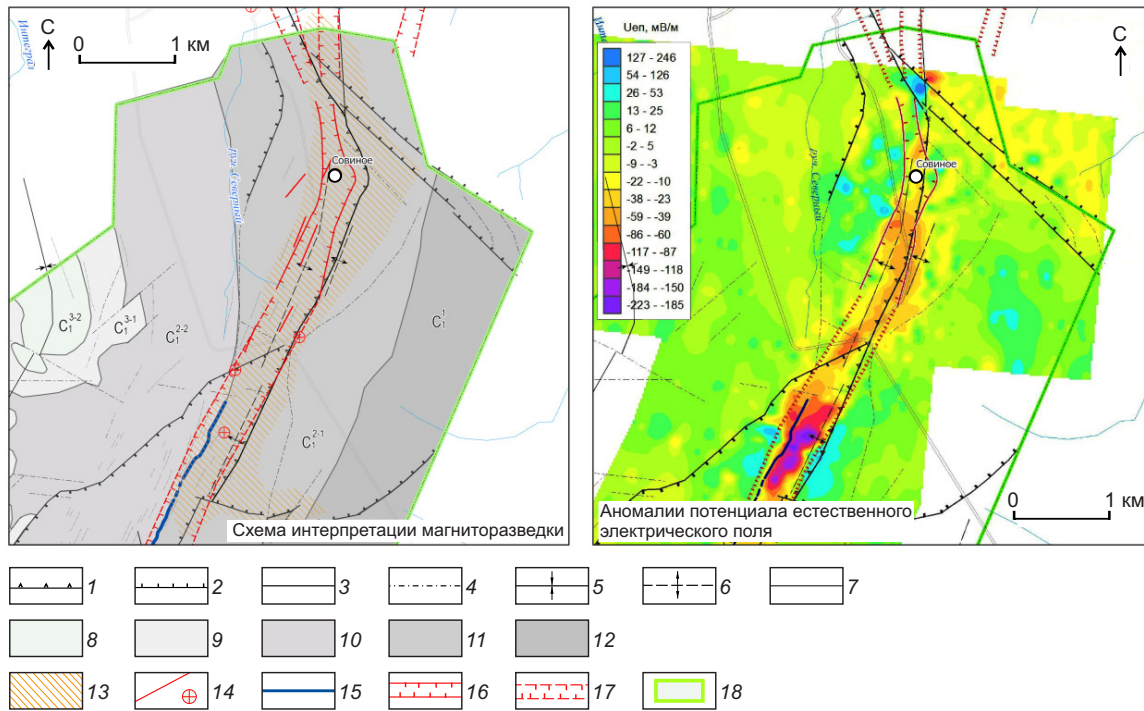


Рис. 3. Геолого-геофизическая модель рудного поля:

1 – надвиги; 2 – взбросы и сбросы; разрывы: 3 – явные и 4 – предполагаемые; оси: 5 – синклиналей и 6 – антиклиналей; 7 – литологические границы; 8–12 – терригенно-осадочные комплексы пород, толщи нижнего карбона: 8 – C_1^{3-2} , 9 – C_1^{3-1} , 10 – C_1^{2-2} , 11 – C_1^{2-1} , 12 – C_1^1 ; 13 – зоны ГМ изменений: карбонатизация, окварцевание, серицитизация; 14 – кварцевые жилы и штупные пробы с золотом (А. Д. Колотилов, 2006); 15 – маркирующий магнитный горизонт в толще нижнего карбона; 16 – минерализованная рудная зона месторождения Совинное; 17 – предполагаемые минерализованные зоны; 18 – контур аэромагнитной съёмки масштаба 1 : 5000

Оруденение целиком локализовано в средней толще раннего карбона, где вмещающие породы в зоне надвига характеризуются повышенными содержаниями углеродистого вещества (УВ), что проявляется на разрезах и планах удельного электрического сопротивления и отрицательной аномалией ЕП.

Зона низкого сопротивления, маркирующая зону надвиговой структуры, при прослеживании с юга на север смещается к востоку, интерпретируется как рудоносная структура в виде вязких разломов с кулисообразной системой зон смятия и рассланцевания.

Полученные новые геологические данные позволяют определённо говорить о структуре месторождения, которая представляется сейчас не в виде антиклинальной складки с седловидными жилами, а в виде пологой минерализованной зоны, приуроченной к системе глубинных Рывемских разломов, имеющих трансформную при-

роду в связи со становлением Охотско-Чукотского вулканического пояса.

По данным бурения установлено, что литологический разрез характеризуется довольно однородным строением и составом как с севера на юг, так и с запада на восток. Без какой-либо закономерности наблюдается многократное чередование интервалов:

- песчаников с прослоями алевролитов в соотношении 80 : 20, 70 : 30;
- переслаивания песчаников с алевролитами (60 : 40, 50 : 50);
- алевролитов (глинистых сланцев) с прослоями песчаников (менее 10%).

Рудовмещающая средняя толща песчано-сланцевого состава характеризуется флишеидным переслаиванием, имеет текстурно-структурные особенности отложений мутьевых потоков: градиционную и косую слоистость, наличие конседиментационных брекчий. Какие-либо закономерности

переслаивания материала псефито-псаммитовой и алевро-пелитовой структуры отсутствуют при безусловном преобладании песчаников (около 70 %). Мощность прослоев песчаников достигает 8–12 м, алевролитов – 0,05–4,0 м.

Для всех литологических разностей характерна повышенная углеродистость (содержание УВ в среднем 0,2%, а в чёрных глинистых сланцах оно достигает 3–7%). Породы подвергнуты динамометаморфизму в условиях зеленосланцевой фации серицит-хлоритовой субфации, интенсивно рассланцованы, кливажированы и смяты до образования милонитов и тектонических сланцев.

Ранее в составе средней толщи карбона выделяли две пачки флишевого строения [3, 5], отличающиеся по составу: верхнюю – существенно песчаниковую и нижнюю – рудовмещающую, существенно алевролитовую, в которой преобладают тёмно-серые тонкослоистые алевролиты (до 80%) и чёрные углистые сланцы, характеризующиеся повышенными содержаниями УВ. В качестве рудовмещающих рассматривались полости отслоения пластичных пород в замке антиклинальной

складки и субгоризонтальные трещины отрыва выше пластов относительно прочных пород, с образованием седловидных кварцевых тел в замках и субогласных кварц-карбонатных жил и прожилков на крыльях (см. рис. 1).

Выделявшаяся предшественниками рудовмещающая существенно алевролитовая пачка, скорее, отражает тектоническую природу её образования в связи с процессами динамометаморфизма. Нижние углистые алевролиты-сланцы образовались в результате рассланцевания и кливажирования собственно той же песчано-алевролитовой толщи карбона в зоне пластичных разломов. На это указывает тот факт, что эти «углистые алевролиты-сланцы» вмещают зоны минерализации, локализованные в интенсивно тектонизированных, милонитизированных и рассланцованных породах в виде пологих зон западного падения под углом 15–35° (рис. 4).

Отмечено зональное строение этих структур, что выражается в степени переработки вмещающих пород, морфологии и характере гидротермальных образований и минерализации. Центральные части

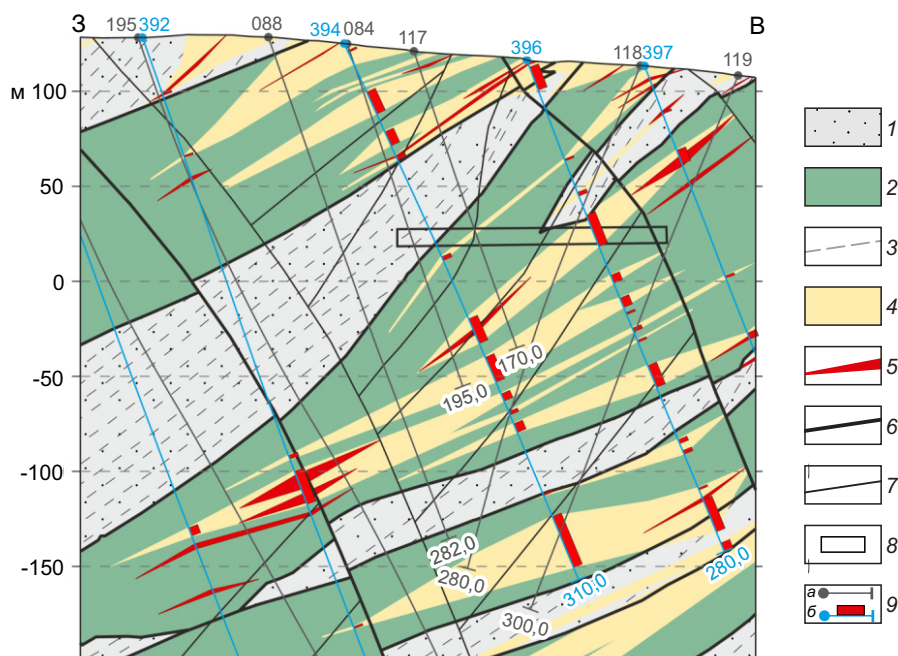


Рис. 4. Строение рудоносной зоны месторождения (разрез по профилю 56):

1 – песчано-сланцево-алевролитовая толща; 2 – смятые и рассланцованные породы; 3 – сланцеватость пород; 4 – минерализованные зоны; 5 – кварцевые жилы; разломы: 6 – главные и 7 – второстепенные; 8 – штольневой горизонт; 9 – буровые скважины, их номера и глубина: а – 1987–1993 гг., б – 2020–2023 гг. с рудными интервалами

минерализованных зон представлены либо кварцевыми жилами «книжной» структуры, сформированными в результате замещения кварцем вмещающих рассланцованных и смятых пород, которые нередко сопровождаются зонами милонитов, где те же кварцевые жилы растёрты в глину с пластинчатыми самородками золота, либо представляют собой зоны дробления и смятия в виде кварцевых брекчий, залеченных кварц-карбонатным материалом в глинистом или в алевролитно-сланцевом матриксе с изоклиальной мелкой складчатостью. Часто от центра к флангам зоны переходят в брекчированные породы, состоящие из тектонической глины и обломков кварцевых жил и прожилков, которые сменяются интенсивно рассланцованными и кливажированными породами с послойным кварцевым прожилкованием и, наконец, с переходом в песчаники и алевролиты в виде окварцевания и карбонатизации по массе и тонкого сетчатого прожилкования.

Зоны кварцевого прожилкования по простиранию могут переходить в жильные тела и наоборот, от чего у предшественников сложилось впечатление о приуроченности рудных зон к слоистости пород на крыльях и отслоениям в замках антиклиналей. Наконец, о динамометаморфической природе указанных зон свидетельствует часто отмечаемое в их составе присутствие зеркал скольжения по рассланцованным породам.

Углистые алевролитно-сланцы в этих минерализованных зонах представляют собой, в наиболее проработанной их части, анкерит-кварц-серицитовые микросланцы, в которых под микроскопом отчётливо установлено интенсивное развитие углеродистого вещества по трещинам кливажа, сформировавшимся на фоне метаморфизма зеленосланцевой фации хлорит-серицитовой субфации и, вероятно, при участии углеродистого метасоматоза (сланцеватая текстура, ориентированные по сланцеватости зёрна серицита и углистого вещества). Интенсивно проявлен кливаж, по трещинам которого развиваются углистое вещество, серицит, сульфиды, а в окисленной части месторождения – гидроксиды железа.

Пример строения рудной зоны и текстур вмещающих углистых сланцев в висячем боку приведён на рис. 5. Основная масса породы (см. рис. 5, А) имеет лепидогранобластовую структуру, состоит из чешуек серицита и пылеватых частиц органического вещества (УВ), ориентированных в одном направлении по кливажу (С). Порфири-

бласт арсенопирита (Ару) и прожилковые выделения пирита (Ру) разбиты трещинами, «залеченными» шестоватым кварцем и карбонатом. Прожилковидные выделения карбоната и порфириобласты располагаются согласно кливажу. Порода окварцована в виде тонких прерывистых прожилков кварцевого и кварц-сульфидного составов мощностью 0,2–0,9 мм, пересекающих породу под углом к кливажу (D) с формированием SC-текстур (D1). Положение кварцевого прожилка между микросланцами и брекчией указывает на неоднократность активизации гидротермальной и тектонической активности в пределах зоны.

На врезке D1 (см. рис. 5, Б) показана интерпретация формирования SC-текстур (фр. *schistosité-cisailement* – сланцеватость-сдвиг), дающая представление о механизме возникновения зоны рассланцевания и смятия в пределах рудных зон. Эти типоморфные структуры формируются в сдвиговых зонах [9] при развитии динамики пластичных деформаций в обстановке простого сдвига. На ранних стадиях развития плоскостные текстуры формируются под углом к сдвиговой зоне, ортогонально действующим напряжениям сжатия (см. рис. 5, В). Морфологически такие текстуры могут быть представлены сланцеватостью, выраженной преимущественной ориентировкой удлинённых кристаллов, порфирокластами со шлейфами в тенях давления, слюд, а механизмами образования являются процессы дислокационного скольжения, рекристаллизации, пассивного вращения более прочных минеральных зёрен, порфирокластов и межзернового скольжения.

Приведённый выше механизм формирования вмещающих пород рудных зон находит подтверждение в этапности и геодинамике образования структуры месторождения.

По результатам анализа и обобщения геологоструктурной информации в истории образования рудоносной структуры (о чём можно утверждать определённо) отчётливо выделяются два основных этапа (рис. 6).

Первый этап протекал в условиях консолидации орогена и СЗ-ЮВ (295–115°) сжатия с формированием рассланцевания и кливажирования пород перпендикулярно к направлению давления и в дальнейшем, с заложением пологих зон смятия по плоскостям срывов (рис. 7). Характеризуется формированием субпараллельных плоскостей сместителей 1–1,5 до 7–8 м, выполненных углефицированной глиной трения, развитием вдоль них

милонитов, катаклазитов и углеродистых филлитов, чёрных и тёмно-серых метаалевролитов (кварц-серицитовых углеродистых сланцев), вблизи зон сместителей, смятых в волнистые, набегаю-

щие изоклиналильные складки и вмещающих интенсивное кварцевое прожилкование и кварцевые жилы мощностью от первых сантиметров до нескольких метров (см. рис. 6, Б).

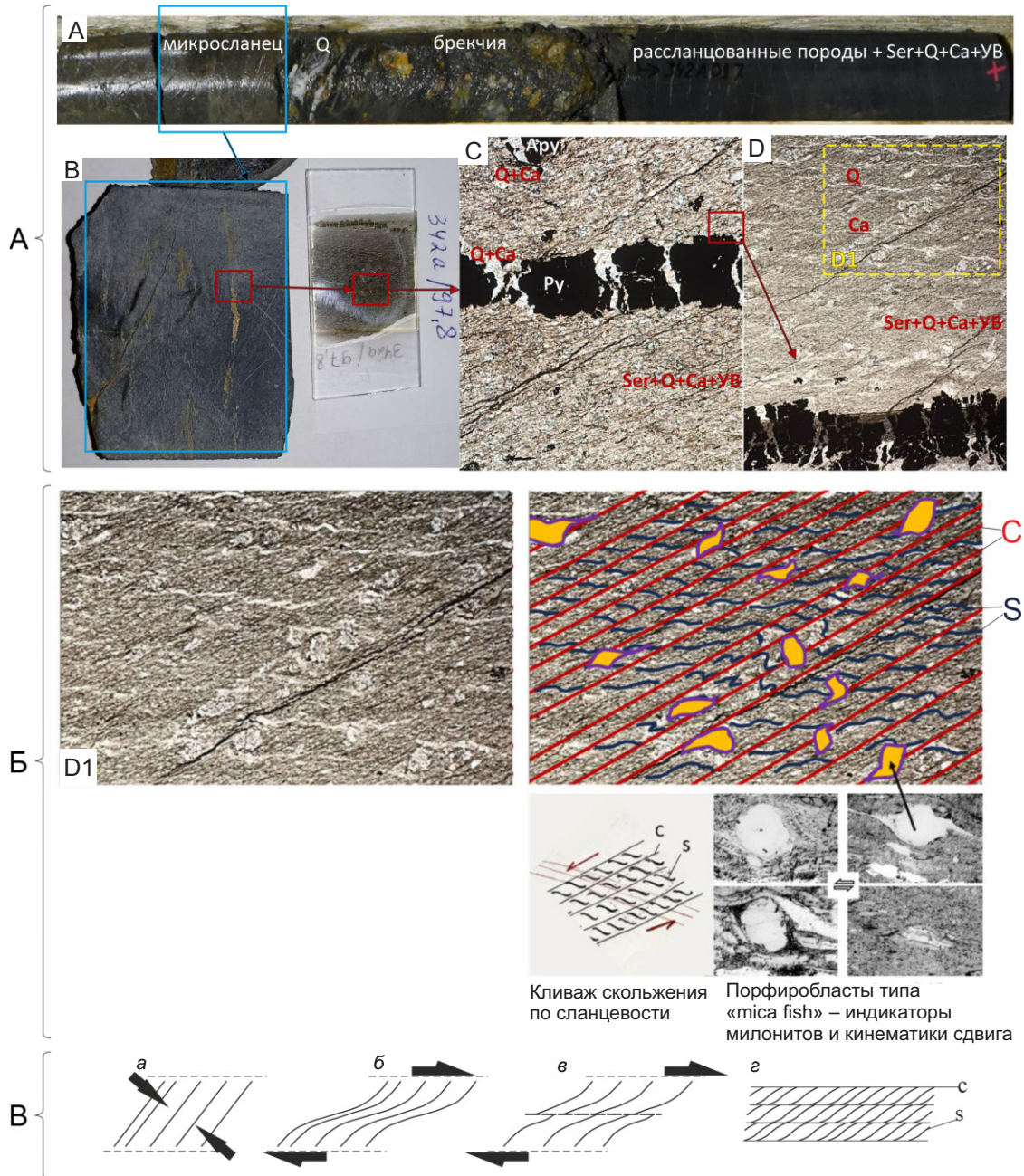


Рис. 5. Строение зоны смятия и рассланцевания в висячем боку:

А – фрагмент на 97,8 м скв. 342а; карбонат (Ca)-кварц (Q)-серицитовый (Ser) микросланец на контакте с кварцевым прожилком и брекчией, прочие пояснения в тексте; Б – увеличенный фрагмент врезки D1 с интерпретацией механизма формирования SC-текстур; В – этапность формирования SC-текстур [9]: а – образование сланцеватости, б – изгиб сланцеватости, в – сколообразование, г – результат скольжения с формированием SC-текстур

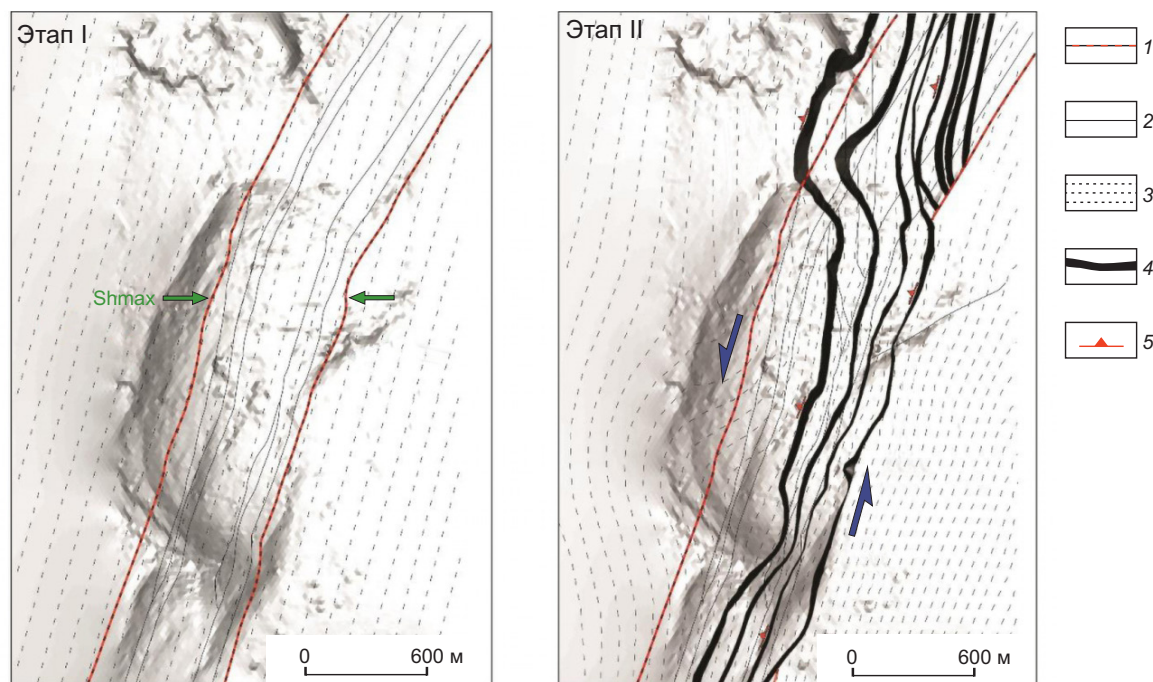


Рис. 6. Этапы формирования структуры рудного поля:

разломы: 1 – главные и 2 – второстепенные; 3 – сланцеватость пород; 4 – зоны смятия и рассланцевания; 5 – элементы залегания

Второй этап связан с отчётливо выраженным левосторонним сдвигом, в результате которого структура претерпела общую деформацию и усложнение её внутреннего строения. Этап характеризуется образованием субпараллельных плоскостей сдвигов ССВ простирания и парных сколов к ним ССЗ простирания, в совокупности формирующих систему левого сдвига (с опережающими сбросами) в масштабе месторождения. Наложение этой системы деформаций усилило перераспределение и концентрацию оруденения предыдущего этапа и активизировало движение по уже существующим надвиговым структурам. Нарушения этой системы маркируются зонами брекчирования и участками изоклиальной складчатости, выдавливания и растяжения.

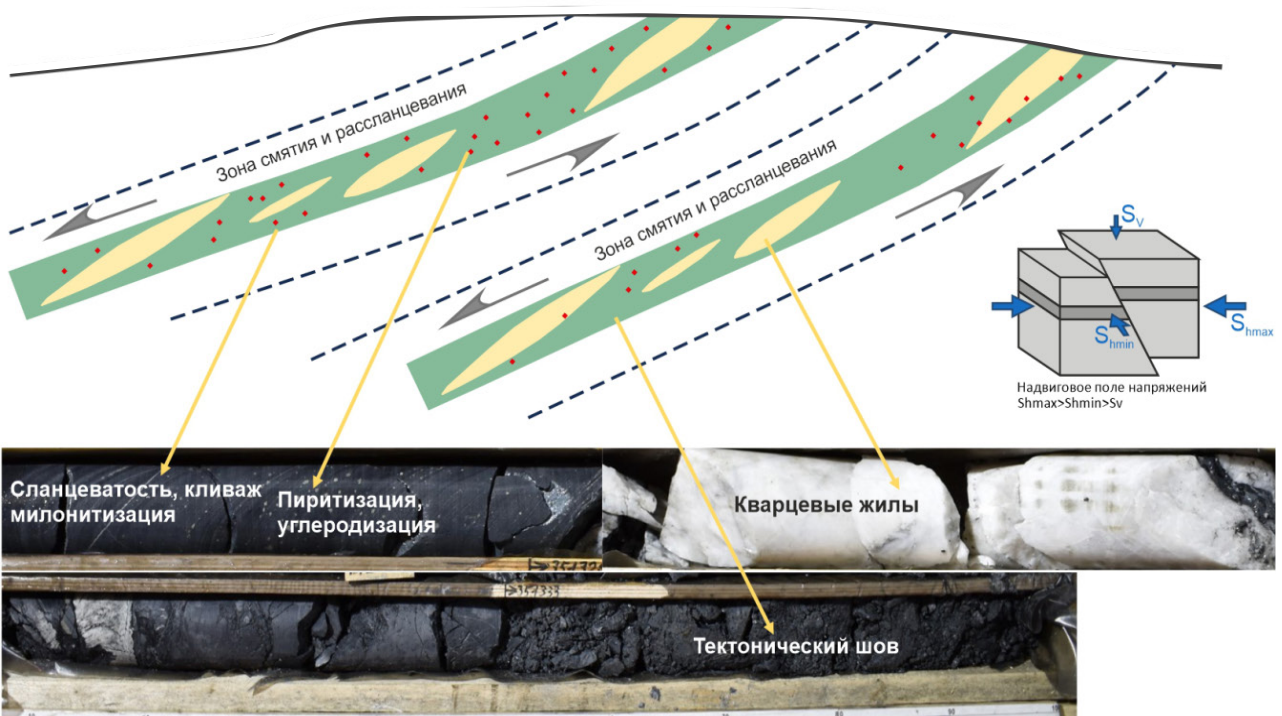
Таким образом, в генетическом отношении формирование оруденения происходило в условиях длительного тектонического развития и метаморфогенного преобразования вмещающих пород при участии металлоносных растворов. В итоге были сформированы четыре отчётливо диагностируемые зоны рассланцевания и смятия (сверху вниз по разрезу): Верхняя, Главная, Средняя и

Нижняя. Кроме этого, устанавливаются и отдельные апофизы зон рассланцевания, одна из которых – Оперяющая – локализована между Верхней и Главной, последняя является наиболее рудоносной (рис. 8). Эти зоны смятия были максимально насыщены полостями отслоения в процессе формирования структуры по сравнению с менее тектонически нарушенными участками рудного поля. Как следствие, данные структуры выступали декомпрессионными ловушками для поднимающихся гидротерм, т.е. являлись наиболее проницаемыми зонами для золотоносных флюидов в процессе тектонического развития. Этим объясняется ленточный и эшелонированный характер рудной залежи по простиранию месторождения.

Протяжённость изученной части структуры рудного поля с севера на юг составила 2400 м (профили от 0 до +120), ширина вскрытых на поверхности минерализованных зон 200–350 м. На самом деле по геофизическим, геологическим и геохимическим данным есть все основания оценивать её распространение к северо-востоку на 1700 м и на юг до 1900 м.

Первый этап

Сжатие. Формирование надвиговых структур, углеродизация, рассеянная минерализация



Второй этап

Левосторонний сдвиг в условиях сжатия и гидротермальной проработки

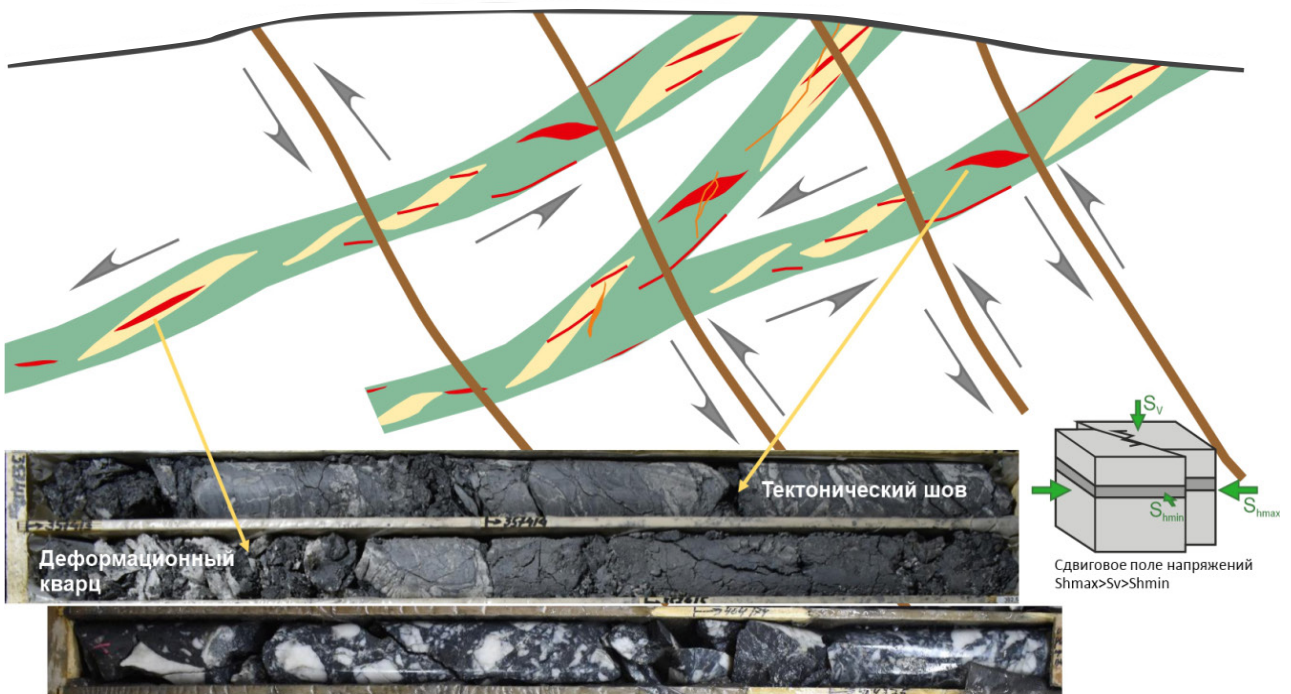


Рис. 7. Последовательность формирования минерализованных зон

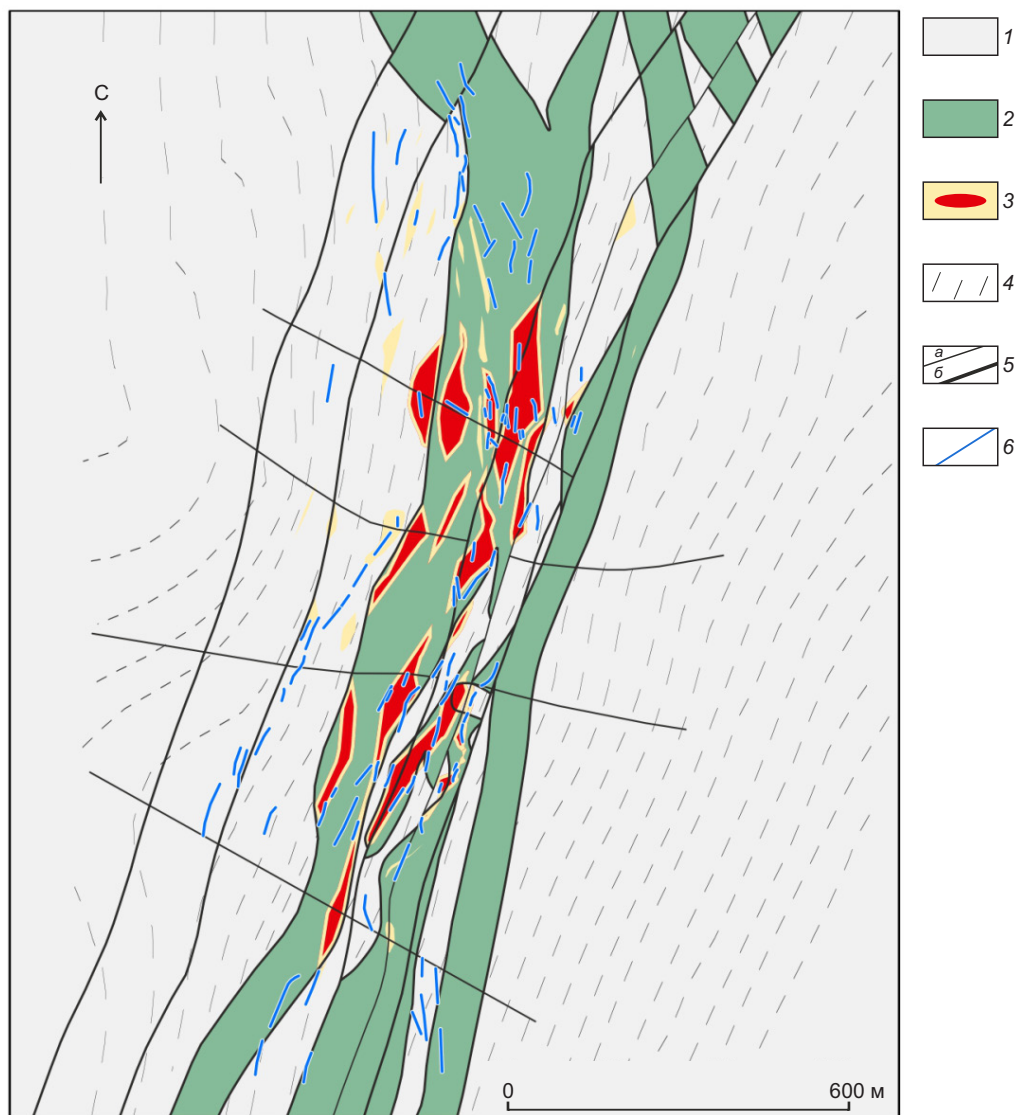


Рис. 8. Схематический план поверхности месторождения:

1 – песчано-сланцево-алевролитовая толща; 2 – зоны смятия и рассланцевания; 3 – минерализованные зоны; 4 – сланцеватость; 5 – разломы: а – главные, б – второстепенные; б – кварцевые жилы

Складчато-разрывная структура месторождения представляет собой осложнённую приразломной складчатостью моноклираль, вмещающую пологие тектонизированные зоны смятия и рассланцевания, расположенные эшелонированно в разрезе с пологим падением 15–35° на запад по азимуту 270°.

Зоны рассланцевания и смятия вмещают субсогласные и секущие жильно-прожилковые зоны (19 рудных зон, рис. 9). По данным буровых работ оруденение по падению прослежено до глубины

400 м. Рудные зоны представляют собой лентообразные прожилково-жильные залежи и прослеживаются по простиранию от 170 до 2210 м, по падению от 60 до 260 м при невыдержанной мощности от первых метров до 60 м.

Кварцевые жилы и прожилки вне минерализованных зон самостоятельного значения как рудные тела не имеют. Они достаточно распространены на месторождении и заполняют трещины скосла и отрыва вблизи тектонических нарушений во вмещающих песчано-алевролитовых отложениях.

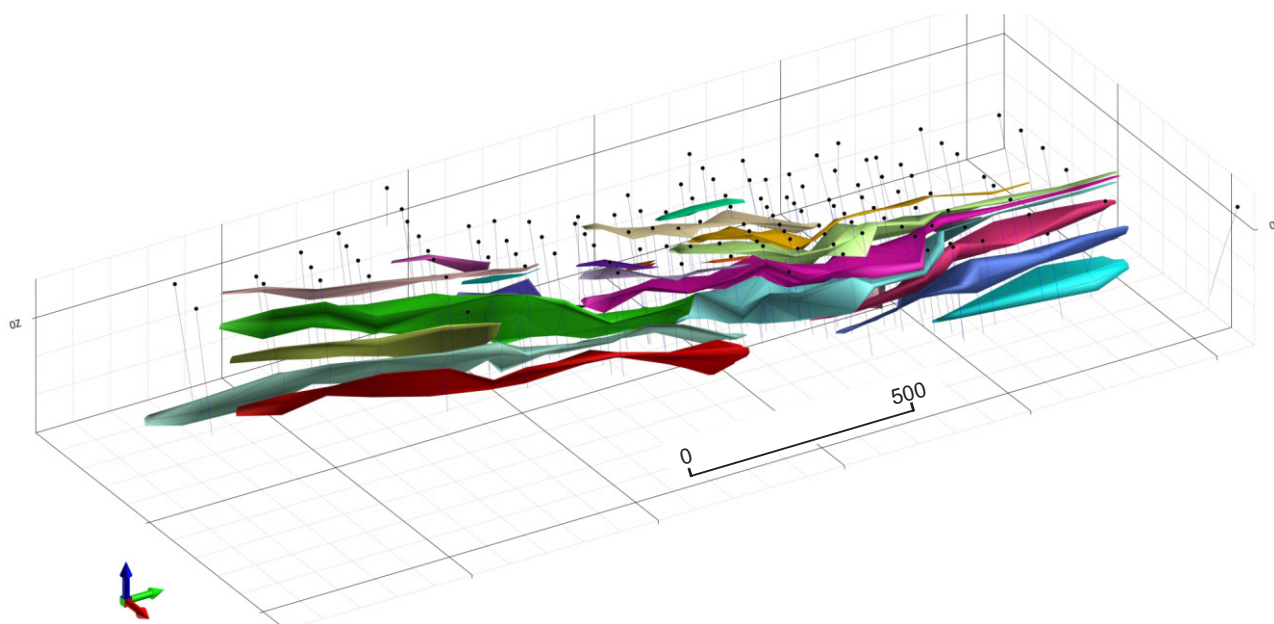


Рис. 9. Структурное положение рудных зон

Минералогия жильно-прожилковых рудных зон типична для малосульфидной золото-кварцевой формации. Жильные минералы – кварц (не менее 80–85 % объёма жильной массы), полевой шпат, карбонат, серицит, углистое вещество в подчинённом количестве. Главные рудные минералы (в порядке значимости): пирит, арсенопирит, галенит, халькопирит, бурнонит, марказит, сфалерит, редкие – самородное золото, пирротин, акантит.

Генетические аспекты рудогенеза. На представительном фактическом материале было показано, что степень насыщенности жильного кварца углекислотно-метановыми включениями непосредственно связана с масштабами золотого оруденения в углеродисто-терригенных комплексах [10, 12]. Данная закономерность объясняется локализацией крупнообъёмных месторождений в зонах воздействия потоков магматогенных углекислотно-метановых золотоносных флюидов, длительно существовавших на фоне тектонических подвижек. По результатам валового анализа флюидных включений в кварце методом газовой хроматографии (табл. 1) установлено, что по уровню содержания углекислоты и метана ($\text{CO}_2 + \text{CH}_4$ 50–300 мл/кг) месторождение Совиное сопоставимо со средними и крупными золоторудными объектами. При этом в объёме месторождения отчётливо проявлена термобарогеохимическая зональ-

ность, которая выражается в том, что наиболее высокая газонасыщенность кварца фиксируется в пределах золоторудной зоны или вблизи неё.

Изотопные исследования показали (табл. 2), что в жильной зоне месторождения присутствуют сульфиды, сера которых заимствована из двух источников. Пирит, в значительной степени обогащённый лёгким изотопом серы ($d^{34}\text{S}$ -25...-15‰), содержит серу осадочно-диагенетических сульфидов, которые присутствуют во вмещающих углеродистых породах [5]. Арсенопирит, имеющий околонулевые значения $d^{34}\text{S}$, характерные для глубинных магм, был образован в результате привноса серы магматогенными флюидами [11]. Аналогичные изотопно-геохимические характеристики установлены на крупнейших месторождениях: Наталкинское [1], Бакырчик [17], Бендиго [18].

Изотопный состав углерода в жильных карбонатах месторождения Совиное ($d^{13}\text{C}$ в среднем -12,4‰, по [5]) говорит об участии в рудообразовании «глубинной» углекислоты [12].

Таким образом, по комплексу критериев месторождение Совиное с генетической точки зрения может быть отнесено к объектам «мурунтауского» типа [11], которые были сформированы золотоносными флюидами, поступающими из глубинных магматических очагов.

Табл. 1. Содержание углекислоты и метана в жильном кварце месторождения Совиное

Скважина	Глубина, м	Содержание газов, мл/кг	
		СН ₄	СО ₂
На удалении от рудных зон			
327	157,0	0,7	34,0
335	79,0	0,5	25,1
335	155,0	0,8	45,6
373	1,8	0,5	19,3
373	137,5	0,4	22,5
399	212,0	0,6	29,5
399	324,0	0,6	31,3
466	82,1	1,0	49,7
466	151,5	0,8	41,9
466	288,0	0,5	23,8
491	28,0	0,3	14,8
491	123,2	0,6	22,7
492	88,0	0,5	26,3
492	96,2	0,9	47,3
494	300,2	0,8	48,1
495	55,1	0,5	23,8
495	111,0	0,9	48,8
496	150,2	0,9	49,2
Среднее		0,7	33,5
В рудных зонах			
327	177,0	0,7	58,9
327	178,0	1,9	113,9
335	259,0	3,2	194,3
373	267,2	1,1	63,3
399	281,6	1,0	66,7
491	228,2	1,1	58,9
492	221,0	1,0	64,4
494	262,0	1,2	59,3
494	280,0	1,8	90,6
495	160,1	1,5	90,8
496	101,4	2,2	122,0
496	312,1	8,8	285,1
Среднее		2,1	105,7

Примечание. Анализ флюидных включений выполнен в ЦНИ-ГРИ методом газовой хроматографии; газы выделяли из кварца путём нагревания навески массой 1 г до 500 °С и анализировали хроматографом Agilent 6890.

Заключение и выводы. В региональном плане месторождение Совиное приурочено к северо-западной части Куульского поднятия Чукотской складчато-орогенной зоны. Данное блок-антиклинальное поднятие северо-западного простирания сложено флишевыми осадочными комплексами позднепалеозойского–раннетриасового возраста, сформировавшимися в условиях континентальной окраины. Чукотская складчато-орогенная зона образована в тыловой части Охотско-Чукотского вулканического пояса (ОЧВП) в результате коллизии и аккреции пассивной континентальной окраины Чукотского пояса [14].

Зона Рывеевских разломов, пересекая Куульское поднятие в северо-восточном направлении, выступала в качестве рудоконтролирующей структуры, которая в условиях сжатия выполняла роль зоны разгрузки напряжений с образованием пологих вязких разломов надвигового (шарьяжного) типа.

Рудовмещающие структуры месторождения сформировались на стадиях орогенеза и последующей активизации в связи с образованием надвигово-шарьяжных структур. Это выражено в последовательности формирования региональной сланцеватости – кливажирования – заложения пологих разломов с появлением зон смятия, которые в последующем, на этапе активизации, выступают в качестве рудовмещающих в процессе циркуляции флюидов, обогащённых глубинными (вероятно, мантийными) газами и УВ. В условиях продолжающегося динамометаморфизма, имевшего пульсационный и сдвиговый характер, глубинные флюиды являются причиной образования углеродистых сланцев, прожилково-жильных зон и золоторудной минерализации.

Подобный тип месторождений, с точки зрения структурно-динамических условий образования, можно отнести к черносланцевому шарьяжно-надвиговому типу орогенных месторождений [15]. Главную роль в контроле и распределении рудных зон в них играют пологие (или вторично наклонённые) шарьяжно-надвигово-кливажные структуры. Для них характерны пластово-седловидные наклонные залежи, состоящие из многоярусных серий сближенных метасоматически-прожилково-вкрапленных и жильных рудных тел золото-кварцевой, золото-сульфидно-кварцевой, золото-сульфидной рудных формаций.

Таким образом, результаты исследований позволили получить новые геологические данные,

Табл. 2. Изотопный состав серы сульфидов месторождения Совиное

Скважина	Глубина, м	Минерал	$\delta^{34}\text{S}_{\text{CDT}}$, ‰
327	178,0	Пирит	-4,8
335	155,0	Пирит	-21,8
335	259,0	Арсенопирит	-0,1
399	281,6	Пирит	-5,9
373	137,5	Пирит	-19,0
492	88,0	Пирит	-14,4
492	221,0	Пирит + арсенопирит	-1,5
495	111,0	Арсенопирит	-1,3
496	150,2	Арсенопирит	-2,5
466	288,0	Пирит	-23,9

Примечание. Анализы выполнены в ЦНИГРИ по стандартной методике [16]. Сера сульфидов переводили в SO_2 посредством реакции с CuO при 800°C в вакууме с последующей криогенной очисткой газа и анализом изотопного состава серы на масс-спектрометре МИ-1201. Результаты пересчитаны по отношению к метеоритному стандарту CDT. В качестве эталона использован лабораторный стандартный образец ЦНИГРИ «Пирит Гайского месторождения» с $\delta^{34}\text{S} = +0,7\text{‰}$; точность измерений $\pm 0,2\text{‰}$.

определить геолого-структурную позицию оруденения, что дало возможность реализовать на практике модель месторождения как крупнообъёмного и оценить его запасы и рудный потенциал.

Предложенная геолого-структурная схема не претендует на исключительность, тем не менее на текущей стадии изученности снимает ранее существовавшие противоречия в оценке условий локализации оруденения и позволяет целенаправленно проводить исследования по прослеживанию рудоносной структуры в ходе разведочных работ.

Основываясь на полученных результатах, со всей определённостью можно прогнозировать подобный тип оруденения в пределах Северо-Чукотской зоны, в составе аналогичных ПРЗУ горст-

антиклинальных поднятий, с которыми связана россыпная золотоносность. Наиболее перспективны для выявления подобных месторождений структуры Кувет-Иультинской и Ичувеевской металлогенических зон.

Всё это служит предметным поводом для ревизии многочисленных ранее изученных рудопроявлений золота и их оценки как крупнообъёмных месторождений. В ближайшей перспективе эти работы могут существенно повысить ресурсный потенциал и нарастить минерально-сырьевую базу золота Северо-Востока, потребность в которой определяется принятой в нашей стране концепцией развития Северного морского пути в Арктической зоне РФ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Арифлулов Ч. Х., Кряжев С. Г., Арсентьева И. В., Имамендинова М. А., Цымбалюк Н. В. Золотоносные литолого-стратиграфические уровни и условия локализации прожилково-вкрапленных руд в Хакчанском и Верхне-Хатыннах-Олботском рудных узлах (Магаданская область) // Отечественная геология. – 2017. – № 4. – С. 24–43.
2. Волков А. В. Золоторудные месторождения Центральной Чукотки (Россия) // Геология рудных месторождений. – 1995. – № 6. – С. 482–499.
3. Волков А. В., Воронин И. А. Золото-кварцевое оруденение Куульской антиклинальной зоны Северной Чукотки // Колыма. – 1993. – № 1. – С. 9–15.
4. Волков А. В., Сидоров А. А., Аристов В. В., Мурашов К. Ю. Золото-кварцевые месторождения в турбидитах северо-восточной части Арктической зоны России // Арктика: экология и экономика. – 2015. – № 4 (20). – С. 48–60.
5. Гончаров В. И., Волков А. В. Геология и генезис золоторудного месторождения Совиное (Северная Чукотка). – Магадан : СВКНИИ ДВО РАН, 2000. – 220 с.
6. Гончаров В. И., Волков А. В. О метаморфогенно-магматогенном рудообразовании на золото-квар-

цевом месторождении Совиное (Северная Чукотка) // Доклады Академии наук. – 2005. – Т. 404, № 3. – С. 374–379.

7. *Горячев Н. А.* Геология Мезозойских золото-кварцевых жильных поясов Северо-Восточной Азии. – Магадан : СВКНИИ ДВО РАН, 1998. – 210 с.
8. *Зоненшайн Л. П., Кузьмин М. И., Натанов Л. М.* Тектоника литосферных плит территории СССР. Кн. 2. – М. : Недра, 1990. – 34 с.
9. *Кирмасов А. Б.* Основы структурного анализа. – М. : Научный мир, 2011. – 368 с.
10. *Кряжев С. Г.* Газогеохимические ореолы золоторудных месторождений в углеродисто-терригенных толщах // Руды и металлы. – 2016. – № 4. – С. 94–97.
11. *Кряжев С. Г.* Изотопно-геохимические и генетические модели золоторудных месторождений в углеродисто-терригенных толщах // Отечественная геология. – 2017. – № 1. – С. 28–38.
12. *Кряжев С. Г.* Флюидный режим формирования золоторудных месторождений в углеродисто-терригенных комплексах // Материалы XVIII Всероссийской конференции по термобарогеохимии, 24–28 сентября 2018 г., Минералогический Музей им. А. Е. Ферсмана РАН. – М., 2018. – С. 67–69.
13. *Кулешов В. Н.* Изотопный состав и происхождение глубинных карбонатов. – М. : Наука, 1986. – 125 с.
14. *Некрасов Г. Е.* Трансформная модель тектоники Верхояно-Чукотских мезозоид // Доклады Академии наук. – 2019. – Т. 489, № 4. – С. 388–392.
15. *Савчук Ю. С., Волков А. В., Аристов В. В.* Структурно-динамические условия формирования крупных орогенных месторождений золота Центральной и Северо-Восточной Азии // Литосфера. – 2021. – Т. 21, № 3. С. 349–364.
16. *Устинов В. И., Гриненко В. А.* Прецизионный масс-спектральный метод определения изотопного состава серы. – М. : Недра, 1965. – 96 с.
17. *Soloviev S. G., Kryazhev S. G., Dvurechenskaya S. S., Trushin S. I.* The large Bakyrchik orogenic gold deposit, eastern Kazakhstan: Geology, mineralization, fluid inclusion, and stable isotope characteristics // *Ore Geology Reviews*. – 2020. – V. 127. – P. 103863.
18. *Thomas H. V., Large R. R., Bull S. W., Maslennikov V., Berry R. F., Fraser R., Froud S., Moye R.* Pyrite and Pyrrhotite Textures and Composition in Sediments, Laminated Quartz Veins, and Reefs at Bendigo Gold Mine, Australia: Insights for Ore Genesis // *Economic Geology*. – 2011. – V. 106. – P. 1–31.

REFERENCES

1. *Arifulov Ch. Kh., Kryazhev S. G., Arsent'yeva I. V., Imamendinova M. A., Tsybalyuk N. V.* Zolotonosnyye litologo-stratigraficheskiye urovni i usloviya lokalizatsii prozhilkovo-vkraplennykh rud v Khakchanskoy i Verkhne-Khatynnakh-Olbotskoy rudnykh uzlakh (Magadanskaya oblast') [Gold-bearing lithologic-stratigraphic levels and conditions localization of veinlet-disseminated ores in Khakchansky and Verkhne-Khatynnakh-Olbotsky ore nodes (Magadan region)], *Otechestvennaya geologiya* [Domestic Geology], 2017, No. 4, pp. 24–43. (In Russ.)
2. *Volkov A. V.* Zolotorudnyye mestorozhdeniya Tsentral'noy Chukotki (Rossiya) [Gold deposits of Central Chukotka (Russia)], *Geologiya rudnykh mestorozhdeniy*, 1995, No. 6, pp. 482–499. (In Russ.)
3. *Volkov A. V., Voronin I. A.* Zoloto-kvartsevyye orudneniye Kuul'skoy antiklinal'noy zony Severnoy Chukotki [Gold-quartz mineralization of the Kuul anticlinal zone of Northern Chukotka], *Kolyma*, 1993, No. 1, pp. 9–15. (In Russ.)
4. *Volkov A. V., Sidorov A. A., Aristov V. V., Murashov K. Yu.* Zoloto-kvartsevyye mestorozhdeniya v turbiditakh severo-vostochnoy chasti Arkticheskoy zony Rossii [Gold-quartz deposits in turbidites of the northeastern part of the Arctic zone of Russia], *Arktika: ekologiya i ekonomika*, 2015, No. 4 (20), pp. 48–60. (In Russ.)
5. *Goncharov V. I., Volkov A. V.* Geologiya i genezis zolotorudnogo mestorozhdeniya Sovinoe (Severnaya Chukotka) [Geology and genesis of the Sovinoe gold deposit (Northern Chukotka)], *Magadan, SVKNII DVO RAN publ.*, 2000, 220 p. (In Russ.)
6. *Goncharov V. I., Volkov A. V.* O metamorfogenno-magmatogenno rudoobrazovanii na zoloto-kvartsevom mestorozhdenii Sovinoe (Severnaya Chukotka) [On metamorphogenic-magmatic ore formation at the Sovinoe gold-quartz deposit (Northern Chukotka)], *Doklady Akademii nauk*, 2005, V. 404, No. 3, pp. 374–379. (In Russ.)
7. *Goryachev N. A.* Geologiya Mezozoyskikh zoloto-kvartsevyykh zhil'nykh poyasov Severo-Vostochnoy Azii [Geology of Mesozoic gold-quartz vein belts of North-East Asia], *Magadan, SVKNII DVO RAN publ.*, 1998, 210 p. (In Russ.)
8. *Zonenshayn L. P., Kuz'min M. I., Natapov L. M.* Tektonika litosfernykh plit territorii SSSR. Kn. 2 [Tectonics of lithospheric plates on the territory of the USSR. Book 2], *Moscow, Nedra publ.*, 1990, 34 p. (In Russ.)
9. *Kirmasov A. B.* Osnovy strukturnogo analiza [Fundamentals of structural analysis], *Moscow, Nauchnyy mir publ.*, 2011, 368 p. (In Russ.)

10. *Kryazhev S. G.* Gazogekhimicheskiye oreoly zolotorudnykh mestorozhdeniy v uglerodisto-terrigennykh tolshchakh [Gas-geochemical halos of gold ore deposits in carbonaceous-terrigenous strata], *Rudy i metally* [Ores and Metals], 2016, No. 4, pp. 94–97. (In Russ.)
11. *Kryazhev S. G.* Izotopno-geokhimicheskiye i geneticheskiye modeli zolotorudnykh mestorozhdeniy v uglerodisto-terrigennykh tolshchakh [Isotope-geochemical and genetic models of gold ore deposits in carbonaceous-terrigenous strata], *Otechestvennaya geologiya* [Domestic Geology], 2017, No. 1, pp. 28–38. (In Russ.)
12. *Kryazhev S. G.* Flyuidnyy rezhim formirovaniya zolotorudnykh mestorozhdeniy v uglerodisto-terrigennykh kompleksakh [Fluid regime for the formation of gold deposits in carbonaceous-terrigenous complexes], Moscow, 2018, pp. 67–69. (In Russ.)
13. *Kuleshov V. N.* Izotopnyy sostav i proiskhozhdeniye glubinykh karbonatov [Isotopic composition and origin of deep-seated carbonates], Moscow, Nauka publ., 1986, 125 p. (In Russ.)
14. *Nekrasov G. Ye.* Transformnaya model' tektoniki Verkhoyano-Chukotskikh mezozoid [Transform model of tectonics of the Verkhoyansk-Chukotka mesozoids], *Doklady Akademii nauk*, 2019, V. 489, No. 4, pp. 388–392. (In Russ.)
15. *Savchuk Yu. S., Volkov A. V., Aristov V. V.* Strukturno-dinamicheskiye usloviya formirovaniya krupnykh orogennykh mestorozhdeniy zolota Tsentral'noy i Severo-Vostochnoy Azii [Structural and dynamic conditions for the formation of large orogenic gold deposits in Central and North-East Asia], *Litosfera*, 2021, V. 21, No. 3, pp. 349–364. (In Russ.)
16. *Ustinov V. I., Grinenko V. A.* Pretsizionnyy mass-spektral'nyy metod opredeleniya izotopnogo sostava sery [Precision mass spectral method for determining the isotope composition of sulfur], Moscow, Nauka publ., 1965, 96 p. (In Russ.)
17. *Soloviev S. G., Kryazhev S. G., Dvurechenskaya S. S., Trushin S. I.* The large Bakyrchik orogenic gold deposit, eastern Kazakhstan: Geology, mineralization, fluid inclusion, and stable isotope characteristics, *Ore Geology Reviews*, 2020, V. 127, P. 103863.
18. *Thomas H. V., Large R. R., Bull S. W., Maslennikov V., Berry R. F., Fraser R., Froud S., Moye R.* Pyrite and Pyrrhotite Textures and Composition in Sediments, Laminated Quartz Veins, and Reefs at Bendigo Gold Mine, Australia: Insights for Ore Genesis, *Economic Geology*, 2011, V. 106, P. 1–31.

Статья поступила в редакцию 11.03.24; одобрена после рецензирования 10.04.24; принята к публикации 11.04.24.
The article was submitted 11.03.24; approved after reviewing 10.04.24; accepted for publication 11.04.24.

Методические аспекты и ограничения использования химического состава хромшпинелидов при прогнозе и поисках месторождений алмаза (на примере бассейна р. Алымджа, Якутия)

Предложена методика исследования хромшпинелидов при алмазопоисковых работах с использованием вариаций химического состава разных генетических групп с целью выделения кимберлитовых и некимберлитовых разновидностей из полигенной ассоциации. Рекомендуемая последовательность изучения хромшпинелидов поможет избежать ошибок при выявлении особенностей их химизма и способствует уточнению прогноза при поисках новых кимберлитовых тел.

Ключевые слова: кимберлиты, хромшпинелиды, парагенезис, россыпь.

ЧУГУЕВСКАЯ ЭЛЬВИРА АЛЕКСАНДРОВНА, геолог I категории, KulaninaEA@alrosa.ru

Вилуйская геологоразведочная экспедиция АК «АЛРОСА» (ПАО), Республика Саха (Якутия), пос. Айхал

The methodological aspects and limitations of using the chemical composition of chrome spinels in forecasting and prospecting for diamond deposits (the case of the Alymdzha River basin, Yakutia)

E. A. CHUGUEVSKAYA

Vilyuiskaya Geological Exploration Expedition of AK ALROSA (PJSC), Aikhal, Republic of Sakha (Yakutia)

A methodology is proposed for studying chrome spinels during diamond prospecting, with the use of variations in the chemical composition of the minerals belonging to different genetic groups in order to distinguish the kimberlite and non-kimberlite varieties from a polygenic association. The recommended succession of investigation of the chrome spinels will help to avoid mistakes in identifying the peculiarities of their chemistry and will facilitate to clarify the forecast when searching for new kimberlite bodies.

Key words: kimberlites, chrome spinels, paragenesis, placer.

Введение и постановка проблемы. В настоящее время невозможно представить алмазопоисковые работы без детального исследования химического состава кимберлитовых минералов. При этом химический состав хромшпинелидов, наравне с составами граната и пикроильменита, которые наиболее распространены как в коренных источниках, так и в связанных с ними ореолах рассеяния, достаточно успешно используется при прогнозе и поисках новых кимберлитовых тел. Исходя из того, что содержание хрома в хромшпинелидах является функцией температурного режима и показателем глубинности [4], высокохромистые хромшпинелиды из ореолов рассеяния, как правило, ассоциируются с кимберлитами. Однако если гранаты альмандин-пиропового ряда с

повышенным содержанием кноррингитовой компоненты характерны практически исключительно для кимберлитов, то источниками хромшпинелидов в ореолах рассеяния, в том числе и разновидностей с высоким содержанием хрома ($\text{Cr}_2\text{O}_3 > 62$ мас. %), по причине их полигенности могут служить различные некимберлитовые породы [5]. Так, высокохромистые хромшпинелиды установлены в породах некимберлитового генезиса для целого ряда регионов: в ультрабазитах Полярного Урала (Cr_2O_3 до 65,92 мас. %), Корякского нагорья (Cr_2O_3 – 68,44 мас. %), Восточного Сахалина (Cr_2O_3 – 63,05 мас. %), Индии (Cr_2O_3 – 66,30 мас. %), Новой Каледонии (Cr_2O_3 – 68,00 мас. %), Папуа–Новой Гвинеи (Cr_2O_3 – 68,52 мас. %), Тасмании (Cr_2O_3 – 68,83 мас. %), Южной Эфиопии (Cr_2O_3 – 66,00 мас. %)

[3]. Даже в хромшпинелидах из основных базальтов Западных Саян содержание Cr_2O_3 достигает 66,60 мас. %.

Широкое распространение в ореолах рассеяния хромшпинелидов некимберлитового генезиса требует более внимательного отношения к изучению химического состава этого минерала при интерпретации полученных данных при прогнозе и поисках новых кимберлитовых тел. Такой подход необходим для исключения из прогнозных построений некимберлитовых разностей хромшпинелидов, что позволит избежать существенных ошибок при прогнозно-поисковых работах.

Проблема «ложных» хромшпинелидов [2] актуальна для целого ряда алмазоносных районов Якутской алмазоносной провинции (ЯАП), особенно для тех, где в ореолах рассеяния присутствуют в значительных количествах хромиты некимберлитового генезиса (Моркокинский и Мало-Ботубинский районы). Не менее актуально вопрос отбраковки «ложных» хромшпинелидов от кимберлитовых разностей стоит и для тех территорий, в пределах которых в кимберлитовых телах хромшпинелид преобладает (Далдын-Алакитское, Накынское и Верхне-Мунское кимбер-

литовые поля), в результате чего значительное количество данного минерала присутствует как в древних, так и в современных ореолах рассеяния. Проблема «ложных» минералов кимберлитов характерна и для Архангельской алмазоносной провинции, в частности для Зимнебережного кимберлитового района со сложными поисковыми обстановками. Содержание индикаторных минералов в кимберлитах данного района на один-два порядка ниже по сравнению с ЯАП, при этом в большинстве тел существенно преобладают хромшпинелиды, которые наиболее широко распространены и в ореолах рассеяния по сравнению с другими минералами. В процессе разнонаправленных движений ледников в данном районе произошло общее «заражение» территории минералами-индикаторами кимберлитов, в результате чего более 80 % минералов в ореолах рассеяния имеют некимберлитовый генезис [7].

В отдельных случаях «ложные» хромшпинелиды можно обнаружить по их кристалломорфологическим особенностям. Например, при отсутствии значительного механического износа на хромшпинелидах из шлиховых ореолов (рис. 1) и наличии определённого опыта по морфологи-



Рис. 1. Внешний вид морфологии кристаллов хромшпинелидов некимберлитового генезиса с «курунгской» морфологией зёрен. Моркокинский район, современный аллювий р. Алымджа



Рис. 2. Внешний вид существенно изношенных хромшпинелидов. Моркокинский район, россыпь Дьюкунах

ческим особенностям отдельных зёрен ещё можно определить, что среди хромитовой ассоциации присутствуют некимберлитовые различия с «курунградской» морфологией зёрен [2]. Признаками «ложных» хромшпинелидов могут служить такие особенности хромитовой ассоциации, как повышенное содержание в ней октаэдров, дефектных зёрен, различий со слоистыми гранями и некоторые другие. В отношении же существенно изношенных зёрен (рис. 2) из древних или современных ореолов рассеяния диагностировать «ложные» хромшпинелиды по морфологии зёрен практически невозможно, поскольку в этом случае нивелируются их отличительные морфологические особенности.

Таким образом, для более надёжной диагностики хромшпинелидов разного генезиса необходимы данные об их химическом составе.

Рекомендации по исследованию состава хромшпинелидов. В связи со значительным распространением в ореолах рассеяния хромшпинелидов некимберлитового генезиса для избежания ошибок и исключения «ложных» шпинелидов из прогнозных построений более рационально придерживаться определённого алгоритма диагностики данного минерала по его химическому составу.

На первом этапе, при исследовании химического состава хромшпинелидов, полученного в результате микрозондового анализа, необходимо определить их генетическую принадлежность. Для

этого нужно располагать базой данных, включающей химические составы всех известных генетических групп хромшпинелида, включая не относящиеся к кимберлитовым источникам. В качестве примера можно привести хромшпинелиды «курунского» типа [2], ферришпинели «серкинского» типа [5] и шпинелиды из базальтоидов, которые не нашли места ни в одной из ныне существующих генетических классификаций кимберлитовых минералов. Следует отметить, что в качестве источников хромшпинелидов «курунского» типа предполагаются ультраосновные массивы, не имеющие генетического родства с кимберлитами [2]. Для «курунских» хромшпинелидов характерен ярко выраженный октаэдрический габитус (см. рис. 1) с преобладанием дефектных колотых осторёберных кристаллов. Грани обычно имеют слоистое строение, в результате чего на рёбрах наблюдается штриховка, иногда отмечается расщепление вершин [1]. Для «курунских» хромшпинелидов не характерны вицинали, к тому же совершенно отсутствуют признаки магматической резорбции [5]. Данная разновидность характеризуется однообразием составов при повышенных содержаниях хрома ($\text{Cr}_2\text{O}_3 > 57$ мас. %) и одновременно низких параметрах по титану ($\text{TiO}_2 < 0,5$ мас. %) и глинозёму (Al_2O_3 в среднем 7–8 мас. %) [1]. Наиболее широко хромшпинелиды «курунского» типа распространены в пределах Мало-Ботубинского алмазонасного района

ЯАП. В связи с повышенной хромистостью «курунских» хромшпинелидов в данном районе предполагалось, что их источниками являются высокоалмазоносные кимберлитовые тела. Однако интенсивные поиски их коренных источников положительных результатов не дали [5].

В отличие от «курунских» хромшпинелидов шпинелидам «серкинского» типа свойственны повышенное содержание титана (TiO_2 до 9 мас. %), нередко железа (FeO_{tot} до 42 мас. %), а также низкие и умеренные содержания хрома (Cr_2O_3 обычно 28–52 мас. %) и глинозёма (Al_2O_3 в среднем 8–9 мас. %). Исходя из особенностей состава среды «серкинских» хромшпинелидов практически полностью отсутствуют высокохромистые разновидности с содержанием $\text{Cr}_2\text{O}_3 > 52$ мас. % [5]. Хотя по морфологии зёрен шпинелиды «серкинского» типа практически не отличаются от разновидностей «курунского» типа, для них также характерно преобладание дефектных октаэдрических кристаллов. Наиболее широко шпинелиды «серкинского» типа распространены в россыпях северо-западного борта Вилюйской синеклизы ЯАП (Муно-Тюнгский и Приленский алмазоносные районы).

Таким образом, без надёжной идентификации некимберлитовых шпинелидов все попытки использования любой генетической классификации применительно к шлиховым ореолам с целью определения парагенетической принадлежности кимберлитовых хромшпинелидов на основе их состава будут приводить к существенным ошибкам.

Для достоверной генетической идентификации хромшпинелидов по химическому составу в настоящей работе использована программа «MineralogicalAnalyse» [6], включающая представительные данные по хромшпинелидам из некимберлитовых источников. На сегодня это достаточно эффективный метод генетической идентификации хромшпинелидов по составу, позволяющий количественно определять в полигенной хромитовой ассоциации некимберлитовые разновидности «курунского и «серкинского» типов, а также шпинелиды из базальтоидов. На данный момент программа способна распознавать по составу хромшпинелиды 20 генетических групп, включая разновидности некимберлитового генезиса, имеющих широкое распространение в шлиховых ореолах. Составы по всем генетическим группам внесены в эталонную базу программы «MineralogicalAnalyse», используя которые программа определяет генетическую специализацию хромшпинелидов пу-

тём сопоставления их химических составов с составами минералов из эталонной базы с привлечением статистических методов. Эта программа позволяет не только установить тип источника хромшпинелидов (кимберлитовый – некимберлитовый), но и в случае их кимберлитовой природы установить конкретный парагенезис глубинных источников хромшпинелидов из кимберлитов.

На втором этапе, после выяснения парагенетической принадлежности хромшпинелидов, при сравнительном анализе поисковых объектов, при локализации и идентификации шлиховых ореолов из прогнозных построений необходимо исключить все некимберлитовые разновидности. Другими словами, из общего массива микрозондовых анализов следует отбраковать химические составы шпинелидов «курунского» и «серкинского» типов, а также составы шпинелидов из базальтоидов, определённые в качестве таковых программой «MineralogicalAnalyse». После этого необходимо пересчитать средние содержания по оксидам с учётом данных парагенетической классификации по отношению только к кимберлитовым разновидностям. Лишь в этом случае полученные данные можно считать корректными, достоверно отражающими реальный состав глубинных хромшпинелидов из кимберлитов, которые можно надёжно использовать при идентификации шлиховых ореолов, при прогнозировании неизвестного кимберлитового источника или установлении связи исследуемых минералов с уже известным телом.

Для большей наглядности рассмотрим важность применения рекомендуемого алгоритма диагностики и разбраковки хромшпинелидов на конкретном примере. На рис. 3 показан состав хромшпинелидов из современного аллювия бассейна р. Алымджа в районе древней россыпи Дьюкунах Моркокинского алмазоносного района ЯАП. Как видно из данного рисунка, значительное количество составов – высокохромистые и содержат $\text{Cr}_2\text{O}_3 > 62$ мас. %. В то же время результаты парагенетической классификации хромшпинелидов, выполненные с использованием программы «MineralogicalAnalyse», показали (рис. 4), что значительную долю среди хромшпинелидов бассейна р. Алымджа составляют некимберлитовые разновидности (57,3 %), среди которых преобладают хромшпинелиды «курунского» типа (36,5 %).

В приведённой таблице перечислены некоторые особенности состава хромшпинелидов бассейна

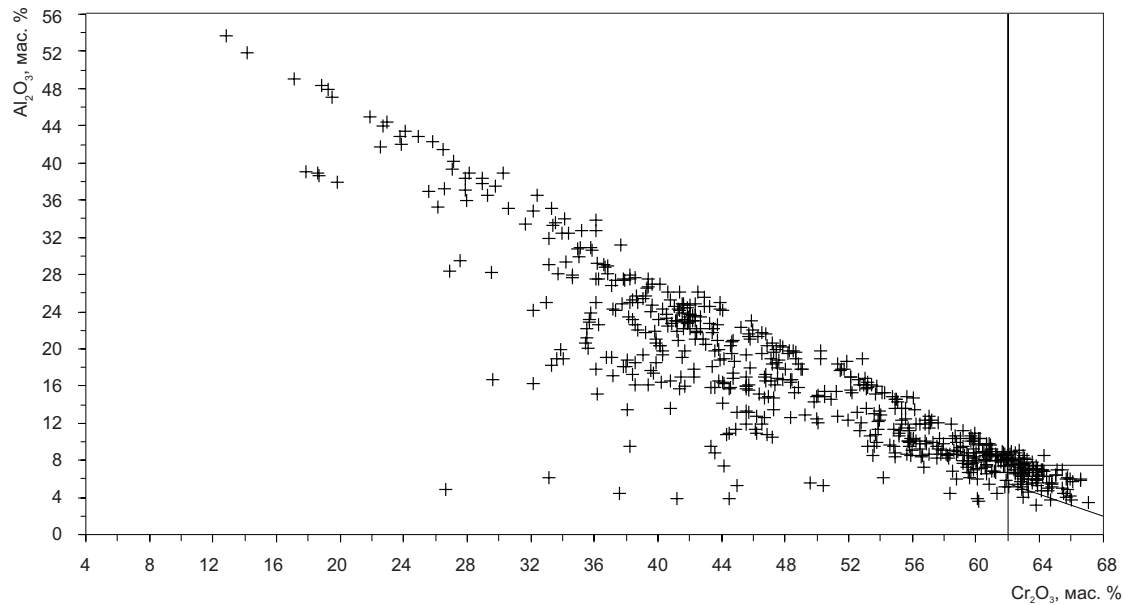


Рис. 3. Распределение составов хромшпинелидов из современного аллювия р. Алымджа в координатах $\text{Cr}_2\text{O}_3\text{-Al}_2\text{O}_3$ ($n = 611$)

р. Алымджа, в том числе отдельно для разностей из современного аллювия и из древних отложений россыпи Дьюкунах. Приведены данные как в целом для всей хромитовой ассоциации, так и, для сравнения, отдельные показатели только по кимберлитовым разностям, на основании парагенетической классификации хромшпинелидов с использованием вышеназванной программы «MineralogicalAnalyse».

Как следует из таблицы, для общей хромитовой ассоциации из современного аллювия бассейна р. Алымджа в отличие от разностей только кимберлитового генезиса характерны более высокие хромистость (в среднем 49,19 мас. % против 45,08 мас. % Cr_2O_3) и титанистость (в среднем 0,47 мас. % против 0,23 мас. % TiO_2) при пониженной глинозёмистости (в среднем 16,23 мас. % против 20,81 мас. % Al_2O_3). Таким образом, при пересчёте показателей по составу хромшпинелидов непосредственно только по отношению к кимберлитовым разностям их средний состав существенно поменялся по сравнению со всей хромитовой ассоциацией, что более корректно отражает состав хромшпинелидов из кимберлитов. Особенно это заметно по хрому, глинозёму и титану (см. таблицу).

Рассмотрим ещё один весьма показательный пример, когда отбраковка примеси некимберлитовых хромшпинелидов из общей ассоциации может значительно изменить её средний состав. Так, из приведённых в таблице данных по особенностям состава хромшпинелидов непосредственно из древней россыпи Дьюкунах хорошо видно, что примесь некимберлитовых разностей также существенно изменяет средние показатели по составу кимберлитовых хромшпинелидов. Среди хромитов данной россыпи по результатам парагенетической классификации преобладают все те же некимберлитовые разности (76,6 %). Однако в отличие от аллювия р. Алымджа в древней россыпи среди некимберлитовых разностей, как и в целом среди общей хромитовой ассоциации, наиболее распространены не хромшпинелиды «курунгского» типа (рис. 5), а ферришпинели «серкинского» типа (38,5 %) и шпинелиды из базальтоидов (35,9 %) [6].

Из таблицы следует, что для общей полигенной хромитовой ассоциации из россыпи Дьюкунах характерны повышенная титанистость (TiO_2 в среднем > 2 мас. %) и железистость (FeO_{tot} в среднем 27,65 мас. %), а также невысокая хромистость (Cr_2O_3 в среднем 42,5 мас. %), что не ха-

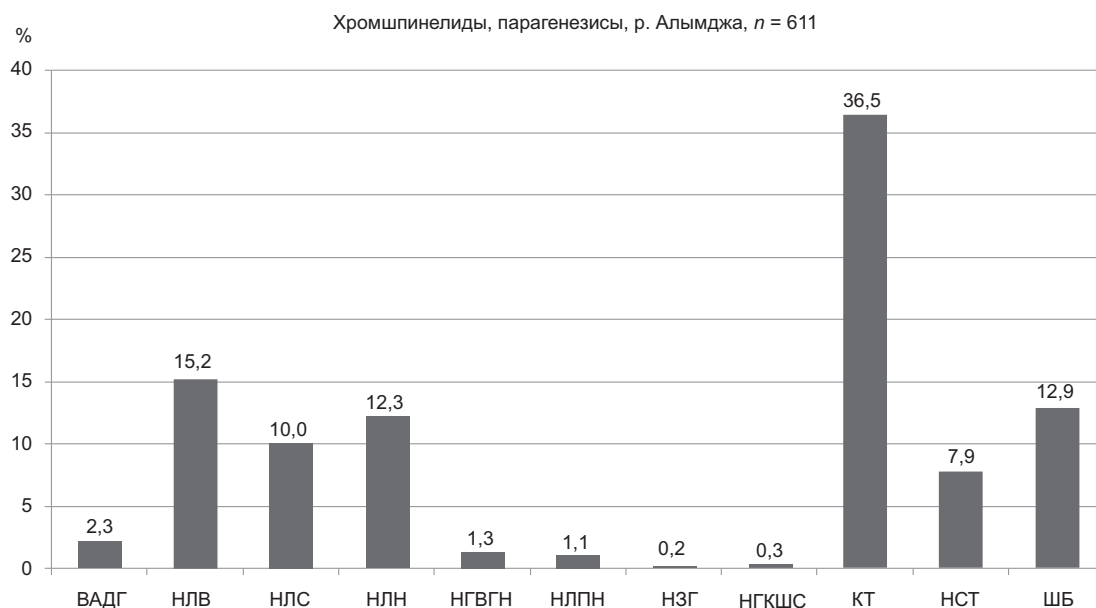


Рис. 4. Распределение хромшпинелидов из современного аллювия р. Алымджа по парагенетическим группам на основе их составов ($n = 611$):

парагенезисы [6]: ВАДГ – из высокоалмазоносных дунитов и гарцбургитов (включения в алмазах перидотитового парагенезиса), НЛВ – из неалмазоносных лерцолитов с высокохромистым шпинелидом, НЛС – из неалмазоносных лерцолитов со среднехромистым шпинелидом, НЛН – из неалмазоносных лерцолитов с низкохромистым шпинелидом, НГВГН – из неалмазоносных гранатовых вебстеритов и гарцбургитов с низкохромистым шпинелидом, НЛПН – из неалмазоносных лерцолитов и пироксенитов с низкохромистым шпинелидом, НЗГ – из зональных гранатов и сростков с ними (неалмазоносные), НГКШС – гранат-клинопироксен-шпинелевые сростки из неалмазоносных ксенолитов, в том числе катаклазированных лерцолитов, КТ – хромшпинелиды «курунгского» типа некимберлитового генезиса, НСТ – ферришпинели «серкинского» типа некимберлитового генезиса, ШБ – шпинелиды из базальтоидов

рактенно для глубинных кимберлитовых хромшпинелидов. Средний состав разностей исключительно кимберлитового генезиса существенно отличается от состава общей хромитовой ассоциации и, в первую очередь, по магнию (в среднем 12,87 мас. % против 10,82 мас. % MgO), титану (в среднем 0,99 мас. % против 2,02 мас. % TiO₂), железу (в среднем 21,62 мас. % против 27,65 мас. % FeO_{tot}) и глинозёму (в среднем 19,51 мас. % против 15,59 мас. % Al₂O₃). Таким образом, и в данном случае при отбраковке хромитов некимберлитового генезиса средние показатели по составу хромшпинелидов приобретают значения, типичные для кимберлитовых разностей.

Приведённые примеры наглядно показывают, как некимберлитовые хромшпинелиды, присутствующие в полигенной хромитовой ассоциации из шлиховых ореолов, могут существенно иска-

жать средние данные по составу хромшпинелидов типичного кимберлитового генезиса. При этом в некоторых районах в пределах ЯАП (Муно-Тюнгский, Приленский и др.) содержание некимберлитовых разностей среди общей хромитовой ассоциации из современного аллювия может достигать 80–100 % от их общего количества. В связи с этим рекомендуемый алгоритм диагностики и разбраковки хромшпинелидов из ореолов рассеяния прежде всего помогает избежать ошибок при изучении составов хромшпинелидов и выявлении особенностей их химизма в пределах той или иной площади. В том числе предложенная последовательность исследования состава хромшпинелидов позволяет более корректно использовать химизм данного минерала при идентификации шлиховых ореолов. При прогнозно-поисковых работах важно не принять особенности со-

Таблица. Особенности состава хромшпинелидов бассейна р. Алымджа

Объект	Число анализов	x, TiO ₂ , мас. %	x, Cr ₂ O ₃ , мас. %	x, MgO, мас. %	x, FeO _{tot} , мас. %	x, Al ₂ O ₃ , мас. %	x, MnO, мас. %	x, NiO, мас. %	% неkimберлитового генезиса
Современный аллювий р. Алымджа									
Средние значения по общей хромитовой ассоциации	611	0,47	49,19	11,22	21,28	16,23	0,41	0,10	57,3
Средние значения по кимберлитовым разностям	261	0,23	45,08	12,34	19,82	20,81	0,39	0,12	–
Древние отложения россыпи Дьюкунах									
Средние значения по общей хромитовой ассоциации	457	2,02	42,50	10,82	27,65	15,59	0,35	0,18	76,6
Средние значения по кимберлитовым разностям	107	0,99	43,63	12,87	21,62	19,51	0,33	0,18	–

става полигенной хромитовой ассоциации за типохимическую особенность хромшпинелидов из ещё неизвестного кимберлитового тела и не строить на этом ошибочный прогноз.

Следует признать, что проблема «ложных» хромшпинелидов актуальна не только по отношению к шлиховым ореолам. Она касается, в том числе, и хромшпинелидов непосредственно из кимберлитов. Иногда приходится сталкиваться с такой ситуацией, когда среди хромшпинелидов из некоторых кимберлитовых тел по данным электронно-зондового анализа отмечается повышенная доля составов, не характерных для разностей из глубинных ксенолитов. В первую очередь это относится к составам с высоким содержанием титана (TiO₂ > 2 мас. %) и железа (FeO_{tot} > 25 мас. %).

При производстве алмазопроходческих работ сложилась практика, когда на микрозондовые исследования отбираются кимберлитовые минералы преимущественно из гранулометрического класса -1+0,5 мм, как наиболее представительного, в котором сосредоточена основная масса минера-

лов из кимберлитов. При недостаточном количестве минералов в классе -1+0,5 мм для достижения представительности выборок по количеству допускается отбор минералов из других классов крупности, например -0,5+0,3 мм. Это вполне оправдано по отношению к гранату и клинопироксену, но неприемлемо для таких оксидных минералов, как хромшпинелид и пикроильменит. Дело в том, что значительная часть таких мелких зёрен (0,3–0,25 мм), представляющих собой практически «рудную пыль», по своей сути являются выделениями связующей массы кимберлитов, которые кристаллизуются непосредственно из кимберлитового расплава на заключительной стадии становления кимберлитовых тел, то есть непосредственно не связаны с процессами глубинного минералообразования. Состав микрооксидов основной массы кимберлитов существенно отличается от состава глубинных хромшпинелидов из большинства ксенолитов мантийных пород главным образом за счёт значительно более высоких содержаний железа и титана [4]. Такие высокотитанистые

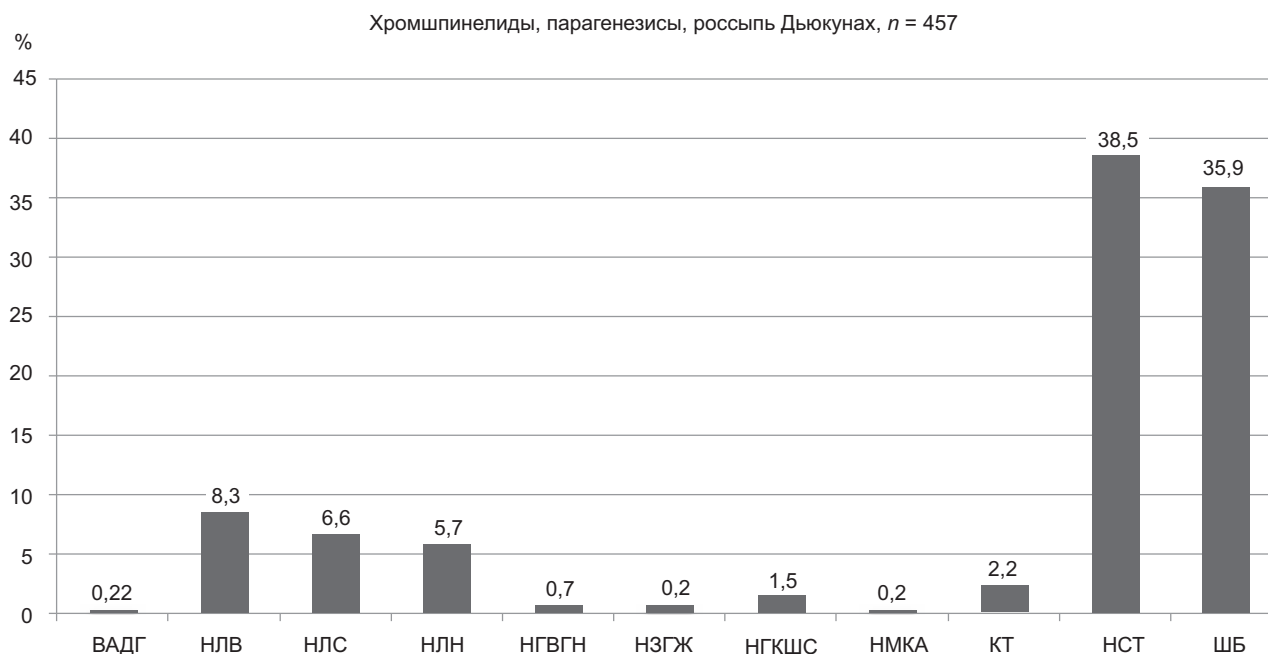


Рис. 5. Распределение хромшпинелидов по парагенетическим группам из древней россыпи Дьюкунах на основе их составов ($n = 457$):

парагенезисы [6]: ВАДГ – из высокоалмазоносных дунитов и гарцбургитов (включения в алмазах перидотитового парагенезиса), НЛВ – из неалмазоносных лерцолитов с высокохромистым шпинелидом, НЛС – из неалмазоносных лерцолитов со среднехромистым шпинелидом, НЛН – из неалмазоносных лерцолитов с низкохромистым шпинелидом, НГВГН – из неалмазоносных гранатовых вебстеритов и гарцбургитов с низкохромистым шпинелидом, НЗГЖ – высокожелезистые шпинелиды из зональных гранатов (неалмазоносные), НГКШС – гранат-клинопироксен-шпинелевые сростки из неалмазоносных ксенолитов, в том числе катаклазированных лерцолитов, НМКА – из неалмазоносных магнезиально-кальциевых алькремитов, КТ – хромшпинелиды «курунгского» типа некимберлитового генезиса, НСТ – ферришпинели «серкинского» типа некимберлитового генезиса, ШБ – шпинелиды из базальтоидов

хромшпинелиды по составу очень близки ферришпинелям «серкинского» типа.

Таким образом, искусственное обогащение выборок хромшпинелидов мелкими гранулометрическими классами (< 0,3 мм) при отборе монофракций из концентратов кимберлитовых проб также способно привести к существенному искажению данных по среднему составу ксеногенных (глубинных) хромшпинелидов в хромитовой ассоциации конкретного кимберлитового тела. Примером могут служить данные по составу хромшпинелидов из трубки Надежда Алакит-Мархинского кимберлитового поля ЯАП. На рис. 6 показаны результаты парагенетической классификации хромшпинелидов из данного тела на основе их состава, полученные с использованием специализированной программы «MineralogicalAnalyse» [6].

Как следует из рис. 6, несмотря на преобладание в тр. Надежда хромшпинелидов кимберлитового генезиса (51,2 %), представленных преимущественно разностями из неалмазоносных лерцолитов с высокохромистым шпинелидом (НЛВ-парагенезис – 29,8 %), одновременно отмечается достаточно высокая доля некимберлитовых разностей (48,8 %). При этом среди последних отмечаются высокотитанистые и высокожелезистые разности с содержанием TiO_2 до 7,6 мас. % (TiO_2 в среднем 2,13 мас. %) и более 40 мас. % суммарного железа (FeO_{tot} в среднем 24,89 мас. %). Подобные высокотитанистые и высокожелезистые разности не свойственны глубинным мантийным хромшпинелидам из кимберлитов, тем более в таком повышенном количестве. Как видно на рис. 6, среди хромшпинелидов из данного тела преобладают

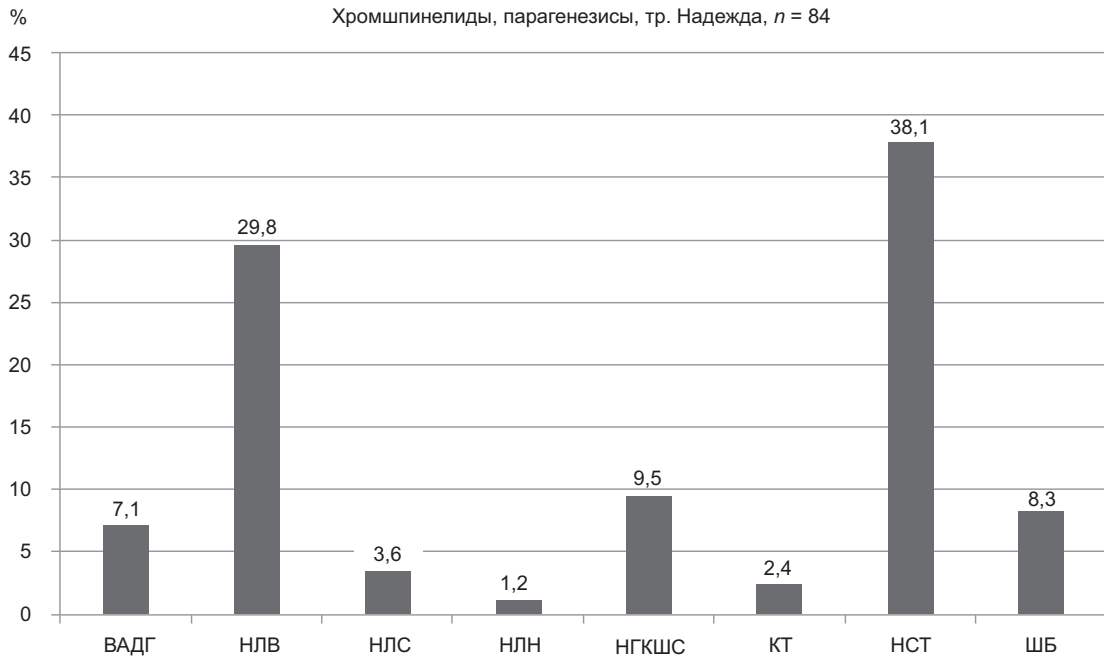


Рис. 6. Парагенетические особенности состава хромшпинелидов из тр. Надежда ($n = 84$):
расшифровку парагенезисов см. на рисунках 4 и 5

некимберлитовые ферришпинели «серкинского» типа (НСТ-парагенезис), содержание которых составляет 38,1 %.

Повышенное содержание некимберлитовых разновидностей среди хромшпинелидов из тр. Надежда связано с чрезмерным увлечением мелкими гранулометрическими классами ($< 0,3$ мм) при отборе монофракций хромитов на микрондовый анализ. Поэтому при изучении особенностей состава хромшпинелидов непосредственно из кимберлитовых концентратов для корректного использования данных по их химизму необходимо из анализируемых выборок полностью исключать разности размерностью $< 0,3$ мм, которые никак не связаны с процессами глубинного (мантийного) минералообразования. Только в этом случае можно получить достоверные данные по составу аксессуарной разновидности хромшпинелидов из глубинных ксенолитов.

Вряд ли стоит отрицать, что и в кимберлитах может присутствовать в качестве ксеногенного материала примесь коровых хромшпинелидов с отличным от глубинных (мантийных) разностей составом. Особенно это может касаться кимберлитовых тел «молодого» (мезозойского) возраста

в районах интенсивного проявления траппового магматизма. Если кимберлиты прорывают породы трапповой формации, то в них может быть повышена доля шпинелидов из базальтоидов. Но, как правило, доля примеси «некимберлитовых» разновидностей среди хромшпинелидов в кимберлитовых телах обычно не превышает 20 %, в среднем составляя 10–15 % [5]. С нашей точки зрения, указанные содержания «некимберлитовых» хромшпинелидов в кимберлитовых трубках ещё могут считаться допустимыми для корректных выводов. Содержание же в кимберлитах «некимберлитовых» разностей на уровне 40–50 % и более должно настораживать. В подобных случаях необходимо выяснять причины такой нестандартной ситуации.

О присутствии в полигенной хромитовой ассоциации разностей некимберлитового генезиса можно судить и по среднему химическому составу выборки. Опыт работ показывает, что в тех пробах, где преобладают ферришпинели «серкинского» типа, для хромшпинелидов характерны высокие содержания оксида титана, в среднем превышающие 2–4 мас. % TiO_2 . Для хромшпинелидов типичного кимберлитового генезиса данный

показатель обычно составляет < 1 мас. % TiO_2 (TiO_2 в среднем 0,3–0,9 мас. %). Там, где присутствует смесь «серкинских» ферришпинелей и разностей кимберлитового генезиса, средние содержания оксида титана в шпинелидах обычно лежат в пределах 1–2 мас. % TiO_2 . В случае если основную массу хромитовой ассоциации составляют хромшпинелиды «курунгского» типа, то средние содержания титана в них будут составлять буквально сотые доли процента (TiO_2 в среднем порядка 0,02–0,05 мас. %).

Заключение. Таким образом, значительное распространение в ореолах рассеяния некимберлитовых шпинелидов может существенно искажать средние данные по составу хромшпинелидов кимберлитового генезиса. В этой связи рекомендованный алгоритм диагностики хромшпинелидов и отбраковки «ложных» шпинелидов некимберлитового генезиса от кимберлитовых разностей с учётом парагенетических особенностей их состава позволяет избежать ошибок при прогнозных построениях в процессе алмазопроисковых работ. Если мы хотим получить корректные данные по аксессуарной разновидности данного минерала из глубинных ксенолитов, то при изучении состава хромшпинелидов из кимберлитов необходимо полностью исключить из дальнейших исследований разности мелких гранулометрических классов (< 0,3 мм). Среди них преобладают выделения основной массы кимберлитов, никак не связанные с процессами глубинного (мантийного) минералообразования. При исследовании химизма хромшпинелидов важно не принять осо-

бенности состава полигенной хромитовой ассоциации за типоморфную особенность хромшпинелидов из прогнозируемых кимберлитовых тел.

В целом предложенный алгоритм изучения хромшпинелидов способен оказать значительную помощь при проведении алмазопроисковых работ. Так, результаты исследования хромшпинелидов в бассейне р. Алымджа в пределах Моркокинского алмазоносного района ЯАП согласно рекомендованному алгоритму показали, что прогнозно-поисковая значимость данного минерала в этом районе как самостоятельного минерала ничтожно мала по причине высокой доли среди хромшпинелидов разностей некимберлитового генезиса [6]. Кроме этого, хромшпинелидовые ореолы с преобладанием в ассоциации некимберлитовых разностей, как правило, имеют площадное распространение и трудно поддаются локализации. В этой связи рекомендуемая последовательность изучения состава хромшпинелидов способна помочь в локализации разностей типичного кимберлитового генезиса на фоне площадных ореолов полигенной хромитовой ассоциации.

Изложенные в данной работе рекомендации по исследованию состава хромшпинелидов докладывались на внутрикорпоративном конкурсе профессионального мастерства АК «АЛРОСА» «Лучший по профессии», где были отмечены дипломом I-й степени (2021 г.).

Автор выражает благодарность кандидату геолого-минералогических наук А. М. Хмелькову за предоставленную возможность работы со своей программой «MineralogicalAnalyse».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Афанасьев В. П., Зинчук Н. Н., Похиленко Н. П. Морфология и морфогенез индикаторных минералов кимберлитов. – Новосибирск : Филиал «Гео»; Изд-во СО РАН, 2001. – 276 с.
2. Афанасьев В. П., Похиленко Н. П., Логвинова А. М., Зинчук Н. Н., Ефимова Э.С., Сафьянников В. И., Красавчиков В. О., Подгорных Н. М., Пругов В. П. Особенности морфологии и состава некоторых хромшпинелидов алмазоносных площадей в связи с проблемой «ложных» индикаторов кимберлитов // Геология и геофизика. – 2000. – Т. 41, № 12. – С. 1729–1741.
3. Илупин И. П. Высокохромистые хромиты из кимберлитов и ультрабазитов – сходства и различия // Руды и металлы. – 2002. – № 4. – С. 54–58.
4. Кротков В. В., Кудрявцева Г. П., Богатиков О. А., Валуев Е. П., Вержак В. В., Гаранин В. К., Заостровцев А. А., Кононова В. А., Литинский Ю. В., Пашкевич И. Р., Степанов А. Н., Фортыхин В. С. Новые технологии разведки алмазных месторождений. – М. : ГЕОС, 2001. – 310 с.
5. Хмельков А. М. Основные минералы кимберлитов и их эволюция в процессе ореолообразования (на примере Якутской алмазоносной провинции). – Новосибирск : АРТА, – 2008. – 252 с.
6. Хмельков А. М., Власова Э. А. Парагенетические особенности состава хромшпинелидов из россыпи

Дьюкунах (Якутия) // Вестник ВГУ, серия Геология – 2020. – № 4. – С. 36–45.

7. Щербакова Т. Е. Типоморфные характеристики минералов кимберлитов в ореолах рассеяния и их использование при поисках месторождений алма-

зов Зимнего Берега : специальность 25.00.11 «Геология, поиски и разведка твёрдых полезных ископаемых, минерагения» : автореф. дис. на соискание учёного степеней. канд. геол.-минерал. наук / Татьяна Евгеньевна Щербакова. – М. : ЦНИГРИ, 2005. – 25 с.

REFERENCES

1. Afanas'ev V. P., Zinchuk N. N., Pokhilenko N. P. Morfologiya i morfogenez indikatornykh mineralov kimberlitov [Morphology and morphogenesis of indicator minerals of kimberlites], Novosibirsk, izdatel'stvo SO RAN publ., 2001, 276 p. (In Russ.)
2. Afanas'ev V. P., Pokhilenko N. P., Logvinova A. M., Zinchuk N. N., Efimova E. S., Saf'yannikov V. I., Krasavchikov V. O., Podgornykh N. M., Prugov V. P. Osobennosti morfologii i sostava nekotorykh khromshpinelidov almazonosnykh ploshchadei v svyazi s problemoi «lozhnykh» indikatorov kimberlitov. [Features of the morphology and composition some chromspinelides to diamondiferous areas in connection with the problem of «false» indicators kimberlites]. Geologiya i geofizika [Geology and geophysics], 2000, V. 41, No. 12, pp. 1729–1741. (In Russ.)
3. Ilupin I. P. Vysokokhromistye khromity iz kimberlitov i ul'trabazitov – skhodstva i razlichiya [High chromium chromites from kimberlites and ultrabasites – similarities and differences], Rudy i metally [Ores and metals], 2002, No. 4, pp. 54–58. (In Russ.)
4. Krotkov V. V., Kudryavtseva G. P., Bogatkov E. P., Valuev E. P., Verzhak V. V., Garanin V. K., Zaostrovsev A. A., Kononova V. A., Litinskii Yu. V., Pashkevich I. R., Stepanov A. N., Fortygin V. S. Novye tekhnologii razvedki almaznykh mestorozhdeni. [A new technologies exploration of diamond deposits]. Moscow, GEOS publ., 2001, 310 p. (In Russ.)
5. Khmelkov A. M. Osnovnye mineraly kimberlitov i ikh evolyutsiya v protsesse oreolobrazovaniya (na primere Yakutskoi almazonosnoi provintsii). [The main minerals of kimberlites and their evolution in the process of halation (on the example of the Yakutian diamondiferous province)]. Novosibirsk, ARTA publ., 2008, 252 p. (In Russ.)
6. Khmelkov A. M., Vlasova E. A. Parageneticheskie osobennosti sostava khromshpinelidov iz rossypi D'yukunakh (Yakutiya). [Paragenetic features of composition chromspinelides from Dyukunakh placer (Yakutia)]. Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya Geologiya [Proceedings of Voronezh State University. Series Geology], 2020, No. 4, pp. 36–45. (In Russ.)
7. Shcherbakova T. E. Tipomorfnye kharakteristiki mineralov kimberlitov v oreolakh rasseyaniya i ikh ispol'zovanie pri poiskakh mestorozhdenii almazov Zimnego Berega [Typomorphic characteristics of kimberlite minerals in halos and their use in the search for Winter Coast diamond deposits], Moscow, 2005, 25 p. (In Russ.)

Статья поступила в редакцию 06.02.24; одобрена после рецензирования 03.04.24; принята к публикации 15.04.24.
The article was submitted 06.02.24; approved after reviewing 03.04.24; accepted for publication 15.04.24.

Исследование озера Байкал с применением глубоководных обитаемых аппаратов

В статье рассматриваются результаты изучения озера Байкал с применением глубоководных обитаемых аппаратов (ГОА) «МИР-1» и «МИР-2», которые проводились в течение 2008–2010 гг. Приводятся данные по геологическому строению Байкала и его биологической активности, основанные на визуальных наблюдениях учёных и результатах измерений и анализов образцов.

Ключевые слова: глубоководные обитаемые аппараты, научные исследования озера Байкал, газогидраты.

САГАЛЕВИЧ АНАТОЛИЙ МИХАЙЛОВИЧ, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник, руководитель лаборатории, sagalev1@yandex.ru

ФГБУН Институт океанологии им. П. П. Ширшова Российской академии наук, г. Москва

Lake Baikal exploration using deep manned submersibles

A. M. SAGALEVICH

Shirshov Institute of Oceanology of Russian Academy of Science, Moscow

The article considers results of studying Lake Baikal using the Deep manned submersibles (DMV) "MIR-1" and "MIR-2", which were carried out during 2008–2010. Data on the geological structure of Baikal and its biological activity are presented, that are based on the visual observations of scientists and on results of the measurements and analyzes of samples.

Key words: deep manned submersibles, scientific research of Lake Baikal, gas hydrates.

В России 2024 г. объявлен годом Байкала. Существенный вклад в исследования Байкала внесли глубоководные обитаемые аппараты (ГОА) «Пайсис VII» и «Пайсис XI» (рабочая глубина 2000 м), а также «МИР-1» и «МИР-2» (6000 м), принадлежавшие Институту океанологии им. П. П. Ширшова РАН (ИО РАН). Оба «Пайсиса» были построены канадской фирмой «International Hydrodynamics» (ИУСО) в 1975 и 1976 гг. при непосредственном участии Игоря Евгеньевича Михальцева и Анатолия Михайловича Сагалевича, которые наблюдали за созданием не только этих аппаратов, но и первых научно-исследовательских ГОА такого типа. В 1976 г. оба «Пайсиса» были поставлены в ангар Южного отделения ИО АН СССР, вблизи Геленджика на Чёрном море, где вновь созданная подводная команда и учёные Южного отделения начали проводить первые научные подводные исследования. В связи с тем, что в ИО РАН не было судов, оборудованных для работы с ГОА, первые глубоководные исследования решено было (по указанию Андрея Сергеевича Моница, директора

ИО РАН тех лет) проводить на оз. Байкал. Первая экспедиция на озеро Байкал с применением «Пайсисов» была проведена летом 1977 г. [1].

Для обеспечения погружений на Байкале была оборудована баржа, на которую поставили шестнадцатитонный автокран (рис. 1). Поскольку баржа была ограничена в передвижении, работы проводились в южной части озера с базированием сначала в Листвянке, а затем в Больших Котах. В экспедиции осуществили 43 погружения ГОА «Пайсис», в одном из которых была достигнута максимальная глубина озера в южной его части – 1412 м (рис. 2). Учёные впервые увидели Байкал «изнутри», изучили строение склонов, террас, сбросовых уступов, пересекающих западные склоны тектонических трещин и др. На основании проведённых наблюдений был сделан вывод, о том что Байкал по своему строению близок к строению рифтовых зон океана и назван внутриконтинентальным рифтом. В экспедиции участвовали учёные ИО РАН и научных организаций СО РАН: Лимнологического института, Института



Рис. 1. Спуск ГОА «Пайсис» на воду с баржи в 1977 г.

Земной коры, Института геохимии, Иркутского государственного университета. По результатам исследований был издан сборник статей, а так же опубликованы статьи в центральных академических изданиях [2].

Следующая экспедиция на озеро Байкал состоялась в 1990–1991 гг. также с применением ГОА «Пайсис VII» и «Пайсис XI». Для обеспечения погружений было оборудовано небольшое судно «Балхаш», которое могло брать на борт один «Пайсис». В процессе проведения погружений аппараты меняли, так что в погружениях были задействованы оба аппарата. Так как судно имело большую свободу передвижения по озеру, то исследованиями было охвачено практически всё озеро. В результате обнаружены некоторые аномальные районы гидротермальной деятельности,



Рис. 2. Экипаж, совершивший глубоководное погружение в ГОА «Пайсис» на 1412 м (Байкал, 1977 г.) справа налево: Александр Подражанский, Анатолий Сагалевиц, Николай Резинков



Рис. 3. Прибытие ГОА «МИР» в Улан-Удэ

выходы газа, поверхности дна, покрытые бактериальными матами. Экспедиция дала возможность учёным значительно продвинуться в познаниях озера Байкал. Однако более углублённые исследования ждали учёных впереди – в 2008–2010 гг., когда на Байкале проводились исследования с помощью ГОА «МИР-1» и «МИР-2» – самых современных и лучших в мире в техническом плане ГОА (по свидетельству Центра развития технологий США, 1994). Это были наиболее результативные экспедиции с применением ГОА на Байкале. И здесь дело не только в том, что работали лучшие аппараты в мире, но и в том, что подводной командой был накоплен неоценимый опыт исследований с помощью «МИРов» в океане. Поэтому основным направлением этих работ явились определение и изучение аномальных явлений на дне озера, похожих на те, которые наблюдались на дне океана.

Некоторые результаты научных исследований озера Байкал с применением ГОА «Мир».

Оба аппарата «МИР», буксировочный катер «Кореш» и другое оборудование были доставлены в г. Иркутск самолётом «Руслан» (рис. 3), а потом на автотрейлерах в г. Улан-Удэ, откуда «МИРЫ» перевезли в Листвянку, где в 2008 г. начиналась экспедиция.

Основным направлением наших работ на Байкале стал поиск областей разгрузки углеводородов на дне – мест сочтения метана и возможных гидротермальных излияний, вокруг которых часто образуются бактериальные маты и поселяются специфические животные, существующие за счёт метанотрофии и хемосинтеза. Во время экспедиций 2008–2010 гг. были совершены 178 погружений на «МИРах», главным образом в средней и южной частях озера [4]. В 2010 г. несколько погружений сделали и в северной части Байкала в бухте Фролиха. В первой экспедиции (2008 г.) мы работали на 14 полигонах, погружались 53 раза и провели под водой более 300 часов, 192 из которых – на грунте. Одни из важнейших

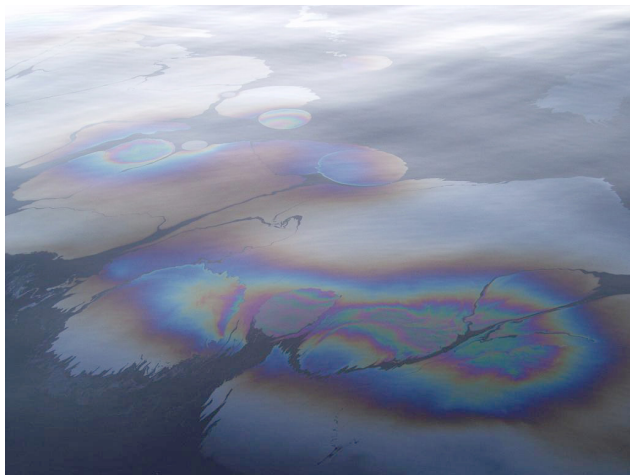


Рис. 4. Нефтяные пятна на поверхности Байкала

результатов того периода – локализация зон глубинных нефте- и газосодержащих флюидов на дне озера и определение интенсивности их разгрузки.

Мыс Горевой Утес. В 2005 г. в этом районе, примерно в 10 км от берега, учёные Лимнологического института зафиксировали большие пятна нефтяных плёнок, распространяющиеся на поверхности в радиусе до 1 км (рис. 4). Во время работ на «МИРах» мы также нашли локальные места разгрузки нефтесодержащих флюидов, отобрали пробы для определения фоновых концентраций углеводородов, пробы планктона, ихтиопланктона и донных животных. В фоновой области, непосредственно прилегающей к району высачивания нефти и газа, а также в самой зоне нефтепроявлений отмечено большое количество «морского снега» (скопления планктона) во всей толще воды, от глубины 100–150 м до самого дна. В диапазоне глубин 863–877 м донные осадки представлены современными светло-коричневыми илами и глинистыми бело-голубыми и оливково-серыми ледниковыми отложениями, обнажившимися в результате схода со склона оползня. Рельеф дна неровный, холмистый, с перепадами высот до 100 м. Здесь мы увидели отдельные холмы высотой до 1 м и диаметром до 3 м, покрытые тёмно-коричневыми и чёрными корками, а также стенку высотой около 1 м и длиной до 5 м, образованную более мелкими холмами с тонкими коническими постройками, похожими на потухшие «курильщики». Они были плотно заселены амфиподами, планариями и моллюсками. На глу-

бине 869 м обнаружили тёмно-коричневую трубку высотой 1,5 м и диаметром 2 м (напоминающую гидротермальную) из битума, асфальтенов и парафинов. Из её верхней части каждые 24–28 сек. высачивались капли (диаметром 0,5–1 см) коричневой нефти, которые быстро поднимались к поверхности. Из этой же постройки с периодичностью 20–30 сек. выделялись пузырьки газа (рис. 5). Нефть сочилась также из небольших битумных построек на глубине 899 и 906 м. Во время погружений экипажи «МИРов» измеряли температуру в местах сочтения нефти и маркировали постройки для последующих наблюдений. Иногда, если нарушалась целостность поверхности осадка (или манипулятором, или касанием лыж аппаратов илистого слоя), происходили выбросы



Рис. 5. Высачивание нефтяных капель из вершины битумного холма в районе мыса Горевой Утес

нефти и газа. Разгрузка газо- и нефтесодержащих флюидов наблюдалась и из многочисленных воронок диаметром 5–40 см.

В районах высачивания нефти и газа из иллюминаторов аппаратов проводились визуальные наблюдения за обитателями подводного мира. Исследовались вертикальное распределение планктона и ихтиопланктона, поведение и ориентация в пространстве массовых эндемичных видов рачков *Macrohectopus branickii* и *Epishura baicalensis* (рис. 6), а также рыбки голомянки



Рис. 6. Ракообразные, поднятые со дна Байкала

рода *Comephorus* (рис. 7). Все они входят в состав единой пищевой цепи в сообществах склоновых и центральных областей Байкала. Оказалось, что в верхних слоях воды (0–350 м) нет крупных пелагических (живущих в верхних слоях вод) животных. Лишь на глубине около 400 м появляются единичные экземпляры довольно большого (25–35 мм) рачка *Mbranickii*, ориентированного головой вниз, и с увеличением глубины его численность возрастает. На расстоянии около 100 м от дна наблюдалась разноразмерная популяция рачков, при этом более мелкие особи были также ориентированы головой вниз. В придонном слое (несколько метров от дна) голомянки ныряли в ил, взмучивая его хвостовым плавником и оставляя на поверхности осадка специфические следы, а иногда прятались в норки. Одновременно на дне в поле нашего зрения присутствовали пять-шесть особей разной величины. Подобное распределение и поведение голомянок в придонном слое на довольно большой площади отмечалось впервые. Биологи пришли к выводу, что эти рыбы не принадлежат к чисто пелагическим обитателям Байкала. При визуальных наблюдениях с аппаратов определяли и видовой, и размерный составы массовых эндемичных видов в придонной области и на поверхности осадков, а также поведенческие реакции различных ракообразных, коттоидных рыб (бычков-подкаменщиков) и ресничных червей (турбеллярий). Мелкие разноногие рачки (амфиподы) зарывались в ил и находились в нём достаточно длительное время. Неко-

торые особи были белого цвета, что характерно для представителей абиссальной фауны. Крупные же амфиподы различались по окраске и поведению: некоторые рачки сидели на небольших холмиках, другие активно передвигались по поверхности дна.

Грязевой вулкан Санкт-Петербург. Важнейшим фундаментальным открытием, сделанным во время работ в 2009 г., стало обнаружение в этом районе большого поля холмов, состоящих из твёрдых ледоподобных газогидратов, слегка припорошенных осадками. Грязевой вулкан нашли учёные из Лимнологического института в 2002 г. Однако в течение семи лет никто и не подозревал о существовании там монолитных газогидратов. Это открытие выходит далеко за рамки исследова-



Рис. 7. Рыбы голомянки, отобранные на дне с помощью всасывающего пробоотборника

ния собственно Байкала. Газовые гидраты – кристаллические соединения метана с водой – ёмкий резервуар энергетического сырья (рис. 8). В одном кубометре гидрата содержатся до 162 м³ газа. По современным оценкам, ресурсы метана в природных газовых гидратах Мирового океана могут превышать ресурсы всех горючих полезных ископаемых на суше. В 2010 г. мы продолжили работу вблизи грязевого вулкана Санкт-Петербург. Был обозначен газогидратный район размером 100 × 100 м, на территории которого располагались три больших и множество мелких газогидратных холмов. Кроме того, под небольшим слоем

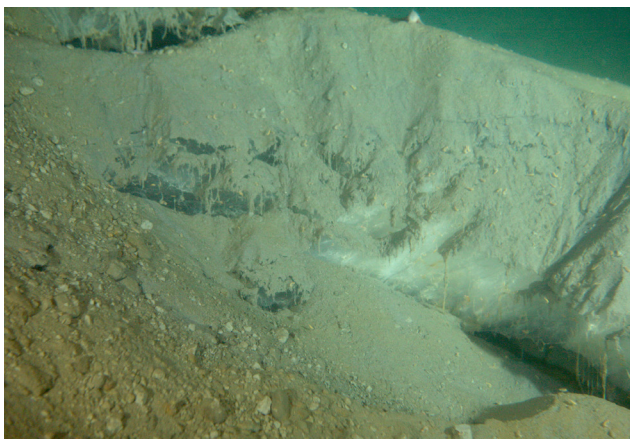


Рис. 8. Холм, сложенный твёрдыми газогидратами, покрытый слоем осадка

осадка там практически везде залегают монолитные газогидраты, в том числе и на относительно ровном дне у подножия холмов. Наблюдались и струйные высачивания метана из осадка. Именно они формировали на экране эхолота специфический газовый факел. При многочисленных погружениях «Миров» были отобраны пробы грунта, воды и бентосных животных. Во многих местах разгрузки глубинных флюидов встречались плёночные бактериальные маты, покрывающие газогидраты. Здесь же были обнаружены желеподобные органические образования, представляющие собой небольшие комочки размером 1–3 см. Изотопный анализ, сделанный в ЛИНе, показал, что и бактериальные маты, и желеподобные комочки существуют здесь за счёт метанотрофии. Геотермическими исследованиями установлено лишь небольшое превышение геотермического градиента над фоном, что нетипично для активного грязевого вулканизма. Это очень важная информация, которая позволяет сделать вывод о преимущественной роли фазового состояния метана, формирующего газогидраты. На полигоне получены данные о высоком потоке метана непосредственно из осадка в воду и незначительном потоке кислорода в осадок.

В экспедициях 2008–2009 гг. под руководством А. Н. Рожкова (Физический институт РАН) разрабатывалась методика поиска газогидратов по аномалиям метана в воде с помощью датчика, установленного на ГОА «Мир». Так был обнаружен первый газогидратный холм. При погруже-

ниях провели ряд экспериментов по формированию и разложению газогидратов из пойманных ловушкой пузырьки метана по методике, разработанной А. В. Егоровым (ИО РАН). Впервые наблюдалось формирование твёрдой газогидратной пены из пойманных пузырьков и её разрушительное действие при подъёме аппарата – несколько ловушек разрушились на глубине 700 м (существенно ниже положения фазовой границы устойчивости газогидратов) (рис. 9). Мы также обнаружили, что газогидратно-ледяные пробки образуются выше положения фазовой границы. Эти результаты очень важны для разработки будущих технологий доставки и транспортировки метана с больших глубин.

Район Большой Голоустный. Здесь мы тоже встретились с газогидратами. Это поле, расположенное на глубине 420 м, самое мелководное газогидратное поле в мире. Оно характеризуется исключительно мощным потоком метана из осадков, достигающим поверхности воды. Нам удалось проследить за газовыми пузырьками до самого дна, где была обнаружена геологическая структура в виде каньона с вертикальными стенками, связанная, по-видимому, с интенсивным выбросом газа из осадка. Борты этого каньона образованы рыхлыми отложениями. Среди них отмечен полупрозрачный горизонтальный пропласток мощностью до 20 см и длиной до 5–6 м, похожий на газогидрат. Здесь отобраны пробы газа, выходящего со дна, осадки и образцы бентосных организмов. Изотопный состав последних показал, что они, так же как и на поле Санкт-Петербург, существуют за счёт метанотрофии.

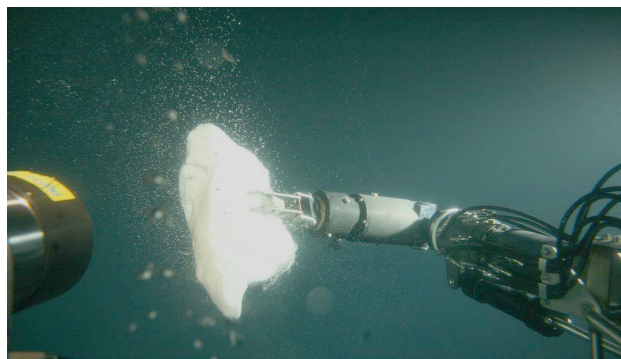


Рис. 9. Кусок твёрдого газогидрата в манипуляторе ГОА «Мир»



Рис. 10. Бактериальные маты, покрывающие поверхность дна в районе бухты Фролиха (глубина 409 м)

Посольская банка. В этом районе, расположенном вблизи мощного осадочного образования (Селенгинская авандельта), в 2009–2010 гг. проводились интересные исследования разгрузки газа. Посольская банка представляет собой потенциально нефтегазоносный район, что подтверждается ранее выявленными аномалиями в содержании углеводородных газов и в воде, и в осадках. Все аномалии при этом имели общую черту – высокий уровень этана по отношению к метану. Здесь в наших экспедициях впервые на Байкале были обнаружены необычные цветные бактериальные маты. Судя по анализам, проведённым биологами ЛИНа, сообщества бактерий из этих образцов существовали за счёт как метанотрофии, так и хемосинтеза. Под слоем осадка мы нашли газогидрат. Его небольшие фрагменты, отломанные манипулятором, мелькали перед иллюминатором, устремляясь вверх и обгоняя аппарат при всплытии.

Мыс Толстый. Работая в этом районе, мы получили неожиданные результаты. Первые же погружения ГОА «Мир» не подтвердили сделанных ранее прогнозов о наличии там разгрузок газа и нефти. Местное подводное поднятие рассматривалось как грязевой вулкан. А так как здесь не удавалось поднять осадки геологическими трубками, которые ударялись о твёрдое дно и приходили пустыми, то предположили, что на дне находятся такие же массивные газогидраты, как и на грязевом вулкане Санкт-Петербург. Визуальные наблюдения из «Мир» показали, что на дне от-

сутствуют мелкомасштабные морфологические признаки выноса глубинных флюидов, типичных для грязевых вулканов. Желтоватый цвет верхнего слоя осадка свидетельствовал о его окисленности. Под тонким слоем залежали древние породы. Содержание газа в воде и осадках и геотермический градиент оказались близкими к фоновому. Таким образом, осмотр, проведённые инструментальные измерения и анализ отобранных образцов позволили однозначно утверждать, что данное поднятие не грязевулканическое образование, а небольшая подводная банка. Подобные структуры весьма характерны для восточного борта Байкала.

Бухта Фролиха. Довольно обширные покровы бактериальных матов мы встретили и в северной части озера. На одном из маршрутов «Мир», на глубине около 400 м, нам удалось выйти на большое гидротермальное поле, которое тянулось вверх по склону более чем на 2 км. Здесь впервые были проведены масштабные геотермические исследования. Внутри поля при измерениях получены высокие значения геотермического градиента: в среднем для данного полигона они достигали 2–4 °С/м, что приблизительно в 100 раз выше средних величин для Байкала. Мы установили связь термической активности с плотностью поселений бентосных организмов. Обширные белые пятна бактериальных матов маркировали максимальный тепловой поток (рис. 10). По изотопному анализу установлено, что бактерии существуют здесь за счёт и хемосинтеза, и метанотрофии.

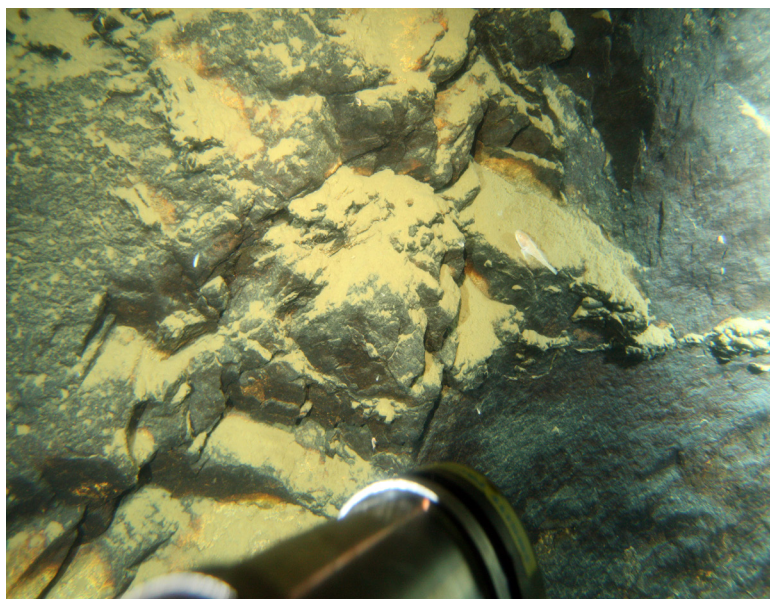


Рис. 11. Сбросовые уступы в западной части Байкала в районе острова Ольхон

Характерная черта этого гидротермального поля – многочисленные и разнообразные скопления губок и полосы амфипод. В области максимальных значений теплового потока на границе вода – осадок зафиксирован и высокий поток метана из осадка в воду. Анализ многочисленных проб придонной воды, взятых с помощью специально изготовленных пробоотборников, показал высокое содержание метана в придонном слое.

Средний и Западный Байкал. Наши исследования районов разгрузок нефти и газа, наличие твёрдых газогидратов и гидротермальных проявлений, характеризующихся эндемизмом фауны, подтверждают, что Байкал представляет собой водоём, близкий к океанической экосистеме. Об этом свидетельствует и геологическая структура озера, для которой характерны основные признаки океанических рифтовых зон. Байкальская котловина образовалась в результате изгибовых деформаций земной коры, сопровождающихся разломами. Перемещение по ним отдельных блоков имело основное рельефообразующее значение. По западному борту Байкальской котловины мы наблюдали ступенчатые террасы, а в районе Ольхонских Ворот – развитие разрывных нарушений сбросового типа, которые наиболее чётко прослеживались в подводной глубоководной части острова (рис. 11). Горизонтальные поверхности террас чередуются с обрывистыми стенками высотой до

160 м, образуя мощные ступени. На глубине около 1400 м дно выполаживается. В этой глубоководной части Байкальского рифта накапливается толща тонких илистых осадков. Коренные горные породы сверху покрыты плёнкой трансформированных (гипергенных) образований, а в скальных обнажениях они хрупкие, выветрелые. Местами сохранились кварцевые жилы и прожилки причудливых форм. На участке дна Среднего Байкала локально распространены глинистые образования с пористой текстурой. Они формируют на склонах «потоки» корок мощностью 3–40 см. Мы исследовали зону контакта Западного борта Байкальского рифта с днищем средней котловины на глубинах 1450–1580 м. Здесь дно имеет довольно ровный рельеф и покрыто мощным слоем тонкодисперсных илистых осадков. Наши работы уточнили строение рифтообразующего (Обручевского) разлома на западном склоне центральной части Байкальской впадины. Комплексный анализ отобранных образцов позволил получить новые данные о возрасте последних подвижек в земной коре и дал возможность достоверно оценить соотношение между их горизонтальной и вертикальной составляющими.

В районе о. Ольхон, Обручевского, Северобайкальского и других крупных северо-восточных разломов раскрытие рифта происходило при доминирующем влиянии сбросовых перемещений.

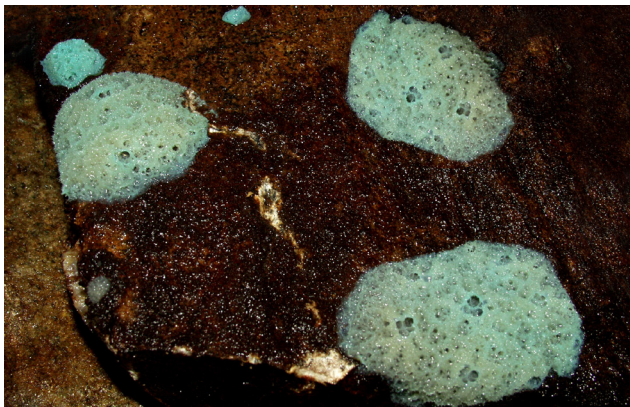


Рис. 12. Голубые губки на коренных породах на западном склоне озера

На западном борту наблюдается довольно крутой склон, сложенный коренными породами с большим количеством слабоокатанного валунного и галечного материала. Гребни склона покрыты железистыми корками. На обследованных участках в диапазоне глубин 1313–1017 м крутизна склона изменяется от 40 до 15–20°. Дно микроканьонов покрыто пелитовым илом с небольшим количеством свалившегося с бортов обломочного материала. На малых глубинах (около 570 м) коренные породы пронизаны порами размером до 3 см.

Террасы склона населены глубоководными эндемичными беспозвоночными, принадлежащими к разным группам (нескольким видам амфипод и губок), а также голомянками и коттоидными рыбами. С помощью манипулятора «Миров» собрано много животных, ранее отсутствовавших в коллекциях, полученных при глубоководных тралениях. В этом районе впервые проводились визуальные глубоководные биологические наблюдения таксономического разнообразия и вертикального распределения эндемичных видов животных, определялись диапазоны их обитания. На двух полуразрезах Среднего Байкала в интервале глубин от 36–40 до 1450–1580 м наши биологи изучали распределение представителей древнейшей байкальской фауны – голубых губок (рис. 12). Были определены места их скопления, взято несколько видов для проведения морфологического и молекулярно-биологического анализов. Впервые своими глазами можно было проследить за распределением абиссальных видов байкальских коттоидных рыб в присклоновой и склоновой зонах, а также донных глубоководных видов амфипод в придонном слое. Закончилась трёхлетняя экспедиция на озеро Байкал, собрана обширная коллекция глубоководных планарий, получен большой объём научных данных [3].

Работа выполнена в рамках Государственного задания ИО РАН по теме № FMWE-2024–0026.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Афанасьева Э. Л., Бекман М. Ю., Безрукова Е. В. [и др.] Путь познания Байкала / Отв. ред. Г. И. Галазий, К. К. Вотинцев. – Новосибирск : Наука, 1987. – 302 с.
2. Монин А. С., Мирлин Е. Г., Сагалевиц А. М. [и др.] Строение западного склона Байкала по наблюдениям из подводных аппаратов // Доклады АН СССР. – 1978. – Т. 239, № 5. – С. 1178–1181.
3. Сагалевиц А. М. Романтическая океанология. – М. : Якорь, 2018. – 222 с.
4. Тулохонов А. К. Миры байкальских глубин : итоги и размышления / А. К. Тулохонов; Байкальский институт природопользования СО РАН, Фонд содействия сохранению оз. Байкал, Российский фонд фундаментальных исследований, Русское географическое общество. – Улан-Удэ : ЭКОС, 2010. – 80 с.

REFERENCES

1. Afanas'yeva E. L., Bekman M. YU., Bezrukova Ye. V. [et al.] Put' poznaniya Baykala [The path of knowledge of Baikal], ed. G. I. Galaziy, K. K. Votintsev, Novosibirsk, Nauka publ., 1987, 302 p. (In Russ.)
2. Monin A. S., Mirlin Ye. G., Sagalevich A. M. [et al.] Stroyeniye zapadnogo sklona Baykala po nablyudeni-yam iz podvodnykh apparatov [the structure of the western slope of Lake Baikal according to observations from underwater vehicles], Doklady AN SSSR, 1978, V. 239, No. 5, pp. 1178–1181. (In Russ.)
3. Sagalevich A. M. Romanticheskaya okeanologiya [Romantic oceanology], Moscow, Yakor publ., 2018, 222 p. (In Russ.)
4. Tulokhonov A. K. Miry baykal'skikh glubin: itogi i raz-myshleniya [Worlds of the Baikal depths: results and reflections], Ulan-Ude, EKOS publ., 2010, 80 p. (In Russ.)

Статья поступила в редакцию 25.03.24; одобрена после рецензирования 09.04.24; принята к публикации 09.04.24.
The article was submitted 25.03.24; approved after reviewing 09.04.24; accepted for publication 09.04.24.

Памяти исследователя рудных месторождений Юрия Ивановича Новожилова



1934–2024

2 апреля 2024 г. в день своего 90-летия ушёл из жизни **Юрий Иванович Новожилов**, талантливый геолог, исследователь месторождений золота, лауреат Государственной премии СССР

(Браззавиль) и в течение двух лет работал в труднодоступном районе джунглей. Под его руководством здесь были выявлены россыпные месторождения золота, проведена разведка и оценены запасы металла по промышленным категориям.

После двухлетней зарубежной командировки старший научный сотрудник лаборатории коренных месторождений золота Ю. И. Новожилов в качестве ответственного исполнителя и научного руководителя участвовал в комплексных исследованиях Ветренского и Наталкинского золоторудных месторождений на Колыме, Токурского в Приамурье, Сухоложского в Ленском рудном районе. По результатам изучения масштабы объектов были оценены с новых позиций, выявлены новые типы оруденения и определены перспективные направления геологоразведочных работ. Параллельно с этой большой работой Ю. И. Новожилов окончил заочную аспирантуру и в 1974 г. защитил кандидатскую диссертацию на тему «Особенности локализации и морфогенезис кварцево-жильных тел в зонах смятия среди флишеидных толщ (на примере некоторых золоторудных месторождений Востока СССР)».

В 40 лет Юрий Иванович Новожилов – опытный эксперт по оценке рудных объектов. В этом качестве его на 3 года (1975–1978 гг.) командировали в Алжирскую Народно-Демократическую Республику. По возвращении он вновь работает в ЦНИГРИ и в 1982 г. становится заведующим лабораторией в отделе благородных металлов.

Для Юрия Ивановича начинается новый этап: ему поручают организацию работы научно-производственных групп, проводивших комплексные исследования Майского и Олимпиадинского месторождений. Подготовка к промышленной эксплуатации последнего шла ускоренными темпами ввиду особой важности задачи. Разумеется, Ю. И. Новожилов не только руководитель, но и один из активных участников исследований: работа на Олимпиадинском месторождении не останавливалась даже зимой, в 40-градусные морозы. Правительство СССР высоко оценило работу специалистов, вовлечённых в научно-производственную группу. Юрий Иванович Новожилов был удостоен Государственной премии СССР за подготовку к промышленному освоению Олимпиадинского золоторудного месторождения.

Выпускник Московского геологоразведочного института имени Серго Орджоникидзе 1957 г. Ю. И. Новожилов принадлежит к поколению создателей золотого века отечественной геологии. Свою преддипломную студенческую практику в 1957 г. он проходил под руководством знаменитого исследователя золоторудных месторождений Урала Н. И. Бородаевского в НИГРИЗолото–ЦНИГРИ и после окончания вуза всю жизнь работал в этом отраслевом институте.

Для роста молодого специалиста Ю. И. Новожилова плодотворными стали годы работы в Центральной опытно-методической экспедиции ЦНИГРИ: он занимался изучением геологического строения и вещественного состава руд ртутных месторождений Горного Алтая и Калбы, вёл детальную съёмку Миндякского и Кочкарского золоторудных месторождений на Урале. Затем в 1965–1967 гг. Ю. И. Новожилов исполнял обязанности технического руководителя партии по поискам и разведке золота в Республике Конго

В дальнейшем заведующий лабораторией геологии золота Юга СССР в ЦНИГРИ Ю. И. Новожилов руководил разносторонними исследованиями, направленными на ускорение оценки промышленного значения месторождений золота и серебра в Республиках Средней Азии, например, возглавлял научно-производственную группу, призванную ускорить изучение и определить промышленное значение месторождения Талды-Булак (Левобережный) в Киргизии. В 1985 и 1988 гг. Ю. И. Новожилов в качестве консультанта был приглашён в Социалистическую Республику Эфиопия на золоторудное месторождение Лега-Демби. В этот период он являлся куратором Мингео СССР по золоту Узбекистана, Таджикистана, Красноярского края, Эфиопии, экспертом ЦКЗ Мингео СССР.

В мемуарах о своём учителе Н. И. Бородаевском в книге «Геологи Мария и Николай Бородаевские»¹ Юрий Иванович Новожилов написал: *«Суть человека проявляется в делах и замыслах, поступках, собирающихся в тот образ, который отлагается в памяти»*. Сделанное им самим в профессии, его энергия, вложенная в открытие и освоение новых месторождений, в значительной степени воплотились в возросшем минерально-сырьевом потенциале нашей страны, создали возможности для позитивных изменений жизни людей. К счастью, Юрий Иванович, проживший долгую жизнь, успел увидеть благие плоды труда геологов своего поколения.

¹ Ю. И. Новожилов. Незабываемое время // Геологи Мария и Николай Бородаевские. – М. : ЦНИГРИ, 2022. – С. 73–79.