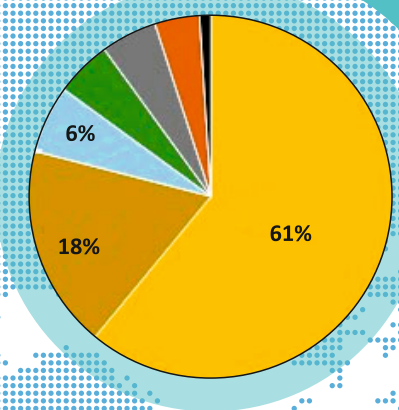


ОТЕЧЕСТВЕННАЯ ГЕОЛОГИЯ

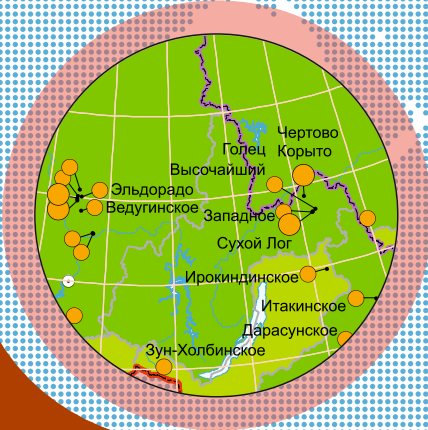
Contents

ORGANIZATION, CONTROL, ECONOMICS, SUBSOIL USE	
<i>Aksenov S.A.</i> The main results of geological prospecting for nonfuel minerals from the funds of Federal Budget in 2017 and some tasks for 2018 3	<i>Yushmanov Yu.P., Petrishchevsky A.M.</i> Belogorsk intrusive-dome structure (Lower Amur region): Deep structure and ore-magmatic zoning 61
<i>Ivanov A.I., Chernykh A.I., Vartanyan S.S.</i> Gold mineral base status and development prospects in the Russian Federation 18	<i>Vilor N.V., Davidenko Yu.A., Shkiriya M.S., Vilor M.A., Badminov P.S., Budyak A.E., Parshin A.V.</i> Complex application of geological and geophysical methods for research of geothermal resources in southern part of Baikal region (Eastern Siberia, Irkutsk region) 69
<i>Lapteva A.M.</i> The State of World Tungsten Market and the Potential of Russian Tungsten Ore Base 29	REGIONAL GEOLOGY
MINERAGENY	<i>Grinenko V.S., Baranov V.V.</i> Paleogeography and paleobiogeography of the Early Jurassic (Hettangian-Pliensbachian) as derived from brachiopods 82
<i>Dmitrieva A.V., Kuleshevich L.V.</i> Geological structure, Late Archean intrusive magmatism and metallogeny of the Onozero-Segozero prospect, Karelia 40	BRIEF COMMUNICATIONS
METALLIFEROUS AND NONMETALLIFEROUS MINERAL DEPOSITS	<i>Ryashchenko T.G., Akulova V.V.</i> Engineering-geological investigations: «method of monitoring well» 87
<i>Abramov B.N.</i> Peculiarities of rare earth elements distribution in molybdenum ore deposits of Eastern Transbaikalia 55	MEMORABLE DATES
	In memory of Valery Aleksandrovich Narseev 94



ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ НА ТВЕРДЫЕ ПОЛЕЗНЫЕ ИСКОПАЕМЫЕ ЗА СРЕДСТВА ФЕДЕРАЛЬНОГО БЮДЖЕТА В 2017 Г. И ЗАДАЧИ НА 2018 Г.

СОСТОЯНИЕ, ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ И
ОСВОЕНИЯ МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ
ЗОЛОТА В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ



ISSN 0869-7175. ОТЕЧЕСТВЕННАЯ ГЕОЛОГИЯ. 2018. № 1

ОТЕЧЕСТВЕННАЯ ГЕОЛОГИЯ

№ 1 / 2018

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

Главные редакторы: С.А.Аксенов
А.И.Иванов

Н.В.Милетенко (зам. главного редактора),
Т.М.Папеско (зам. главного редактора),
А.И.Черных (зам. главного редактора)

Е.М.Аксенов, А.И.Варламов, С.С.Вартанян,
А.И.Жамойда, А.А.Кременецкий, М.И.Логвинов,
Г.А.Машковцев, Н.В.Межеловский, И.Ф.Мигачев,
А.Ю.Розанов, Г.В.Седельникова, И.Г.Спиридонов,
В.И.Старостин, Е.Г.Фаррахов

Содержание

ОРГАНИЗАЦИЯ, УПРАВЛЕНИЕ, ЭКОНОМИКА, НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЕ

Аксенов С.А.

Основные результаты геологоразведочных работ на твердые полезные ископаемые за средства федерального бюджета в 2017 г. и задачи на 2018 г. 3

Иванов А.И., Черных А.И., Вартамян С.С.

Состояние, перспективы развития и освоения минерально-сырьевой базы золота в Российской Федерации 18

Лантева А.М.

Ситуация на мировом вольфрамовом рынке и возможности российской сырьевой базы вольфрама 29

МИНЕРАГЕНИЯ

Дмитриева А.В., Кулешевич Л.В.

Геологическое строение, позднеархейский интрузивный магматизм и металлогения Ондозерско-Сегозерской площади (Карелия) 40

МЕСТОРОЖДЕНИЯ РУДНЫХ И НЕРУДНЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Абрамов Б.Н.

Особенности распределения редкоземельных элементов в рудах молибденовых месторождений Восточного Забайкалья 55

Юшманов Ю.П., Петрищевский А.М.

Белогорская интрузивно-купольная структура (Нижнее Приамурье): глубинное строение и рудно-магматическая зональность 61

Вилор Н.В., Давыденко Ю.А., Шкиря М.С.,

Вилор М.А., Бадминов П.С., Будяк А.Е., Паршин А.В. Комплексное применение геолого-геофизических методов при изучении геотермальных ресурсов в Южном Прибайкалье (Восточная Сибирь, Иркутская область) 69

РЕГИОНАЛЬНАЯ ГЕОЛОГИЯ

Гриненко В.С., Баранов В.В.

Палеогеография и палеобиогеография ранней юры (геттанг–плинсбах) по брахиоподам 82

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

Рященко Т.Г., Акулова В.В.

Инженерно-геологические изыскания: «метод контрольной скважины» 87

ПАМЯТНЫЕ ДАТЫ

Памяти Валерия Александровича Нарсеева 94

Редакция: *Т.М.Папеско, К.Э. Слабких*
Компьютерная верстка *А.В.Кондратьев*

Журнал включен в Перечень рецензируемых научных изданий

Подписано в печать 13.01.2018

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 ФГУП ЦНИГРИ

Основные результаты геологоразведочных работ на твердые полезные ископаемые за средства федерального бюджета в 2017 г. и задачи на 2018 г.

С.А.АКСЕНОВ (Федеральное агентство по недропользованию; 125993, г. Москва, ул. Б. Гruzинская, 4/6, ГСП-3).

Аксенов Сергей Алексеевич



saksenov@rosnedra.gov.ru

The main results of geological prospecting for nonfuel minerals from the funds of Federal Budget in 2017 and some tasks for 2018

S.A.AKSENOV (The Federal Subsoil Resources Management Agency)

В 2017 г. геологоразведочные работы (ГРП) на твердые полезные ископаемые (ТПИ) проводились при сниженном объеме финансирования, реорганизации отраслевых научно-исследовательских институтов и производственных организаций.

В соответствии с принятой корректировкой государственной программы «Воспроизводство и использование природных ресурсов», геологоразведочные работы были направлены в основном на высоколиквидные, наиболее привлекательные для лицензирования полезные ископаемые – алмазы, благородные и цветные металлы, доля которых в общем объеме финансирования составила 85% (рис. 1). Единственный подрядчик на выполнение работ – АО «Росгеология».

Структура затрат недропользователей в целом соответствовала структуре затрат федерального бюджета. Отличием является значительно больший объем работ на уголь и алмазы.

Как и ранее, работы из всех источников финансирования были сосредоточены преимущественно в Дальневосточном и Сибирском федеральных округах (см. рис. 1).

В 2017 г. ГРП завершились на 60 объектах, из них на 18 получены положительные результаты, 26 – завершились с результатами ниже установленных техническим заданием.

К сожалению, вынуждены констатировать, что в связи с существенным отставанием лабораторных исследований оценить результативность работ по основному параметру – приросту прогнозных ресурсов и, соответственно, перспективы объектов, удалось только к самому концу 2017 г. Не полностью выполнены объемы не только аналитических, но и физических работ по пяти объектам, что повлекло недоосвоение средств федерального бюджета.

Решение этих проблем, безусловно, в будущем лежит в плоскости улучшения планирования и организации работ единым исполнителем госзаказа – АО «Росгеология» в координации с Департаментами по недропользованию.

Вместе с тем, справедливости ради, надо сказать, что результаты геологоразведочных работ за счет средств федерального бюджета в целом положительные. Это связано в том числе и с тем, что выбор объектов для постановки ГРП был достаточно обоснованный и, как следствие, эффективность работ отвечает всем мировым и российским показателям.

Статистика результативности ГРП в нашем достаточно рисковом поисковом секторе подтверждает прежнюю успешность работ: из 100% объектов положительные – 30%.

Наиболее значимые результаты получены по следующим завершившимся объектам.

В старейшем районе золотодобычи на Среднем Урале – Невьянской рудной зоне – в пределах Вилуйского рудного поля в результате поисковых работ на рудное золото, выполненных АО «Росгео» (субподрядчик ОАО «УГСЭ») при методическом сопровождении ФГУП ЦНИГРИ, впервые за последние десятилетия открыто крупное потенциальное месторождение золота.

Апробированные в ФГУП ЦНИГРИ прогнозные ресурсы золота локализованы в результате детализационных поисковых работ на участках Березовый Лог, Ключик, Рудноболотный, Родионовский и Сталинский и составили $P_1 - 34,7$ т и $P_2 - 116,0$ т, из которых 93,5 т (14,2 и 79,3 т соответственно) связаны с окисленными золото-кварц-сульфидными рудами в коре химического выветривания в мощных (10–70 м) и протяженных (до 1,5 км и более) крутопадающих линейных минерализованных зонах со средними содержаниями золота от

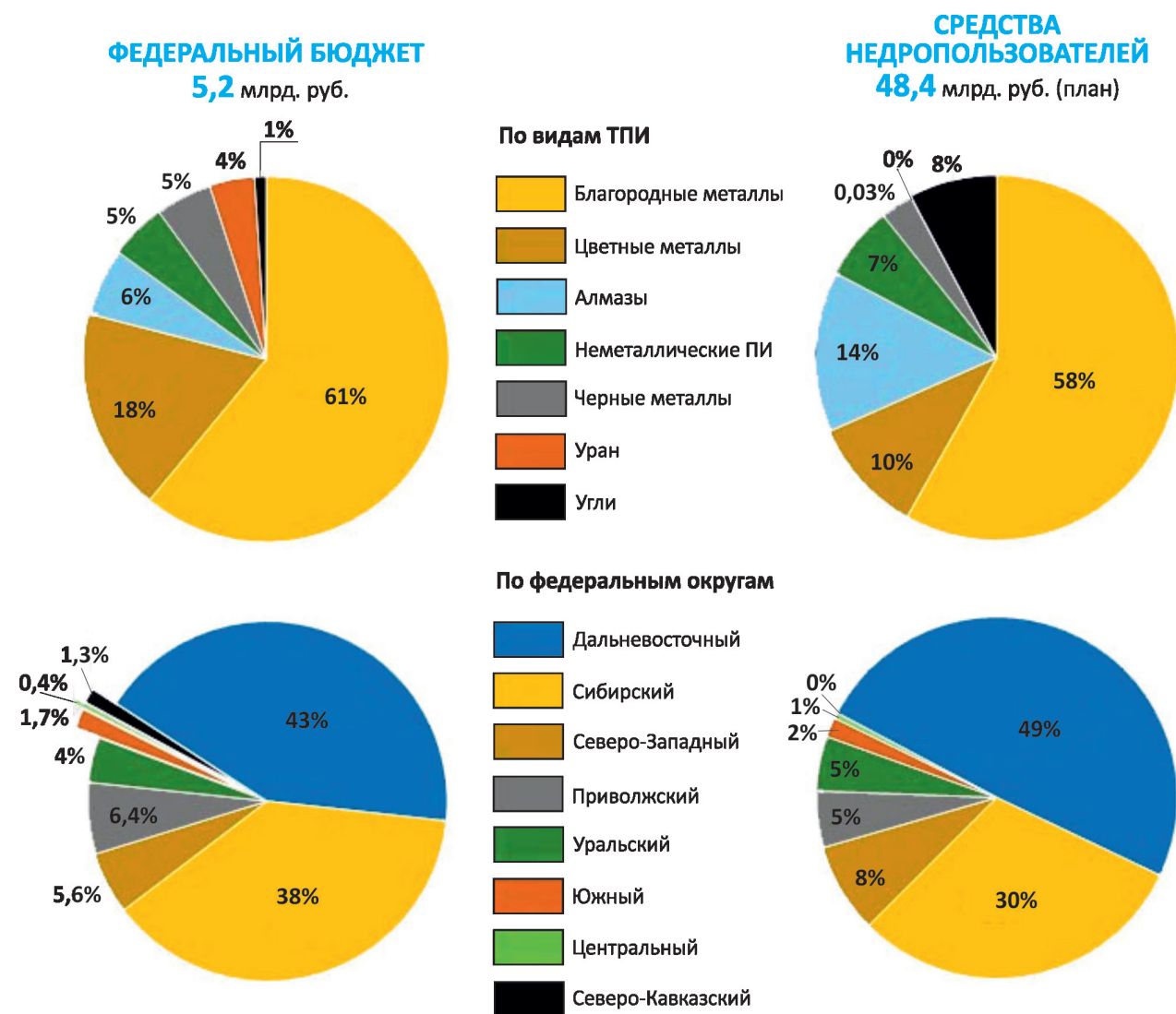


Рис. 1. Структура затрат на проведение ГРП в 2017 г.

0,9 до 2,5 г/т (рис. 2). С учетом данных бурения прогнозные ресурсы оценены до глубины 200 м.

Минерализованные зоны представляют собой кварц-серицитовые метасоматиты с прожилково-вкрапленной золото-кварц-сульфидной (пирит, пирротин, халькопирит, сфалерит, галенит, арсенопирит и др.) минерализацией. В качестве рудовмещающих выступают породы интрузивного (дайки и штоки диоритов, гранодиорит-порфиров и плагиогранит-порфиров, D_3-C_1) и вулканогенно-терригенно-карбонатного (андезиты, андезибазальты и их туфы, углисто-кремнистые сланцы с прослоями туфогенно-осадочных пород, известняки, O_3-D_1) комплексов.

Лабораторно-технологические испытания руд, проведенные в ОАО «Уральский институт металлов», г. Екатеринбург, показали, что для переработки как пер-

вичных, так и окисленных руд целесообразна комбинированная гравитационно-цианистая схема обогащения с извлечением золота 96,27 и 96,98% соответственно.

Расчетные технико-экономические показатели свидетельствуют об общей экономической эффективности переработки окисленных и первичных руд Вилуйской площади, разрабатываемых по схеме, принятой для Воронцовского месторождения на Урале: горно-обогатительный комбинат с полным циклом переработки, включающим карьер, полигон кучного выщелачивания и обогатительную фабрику.

Результаты геолого-экономической оценки позволяют достаточно уверенно говорить о большом запасе экономической «прочности» выявленного объекта и о целесообразности его дальнейшего геологического изучения.

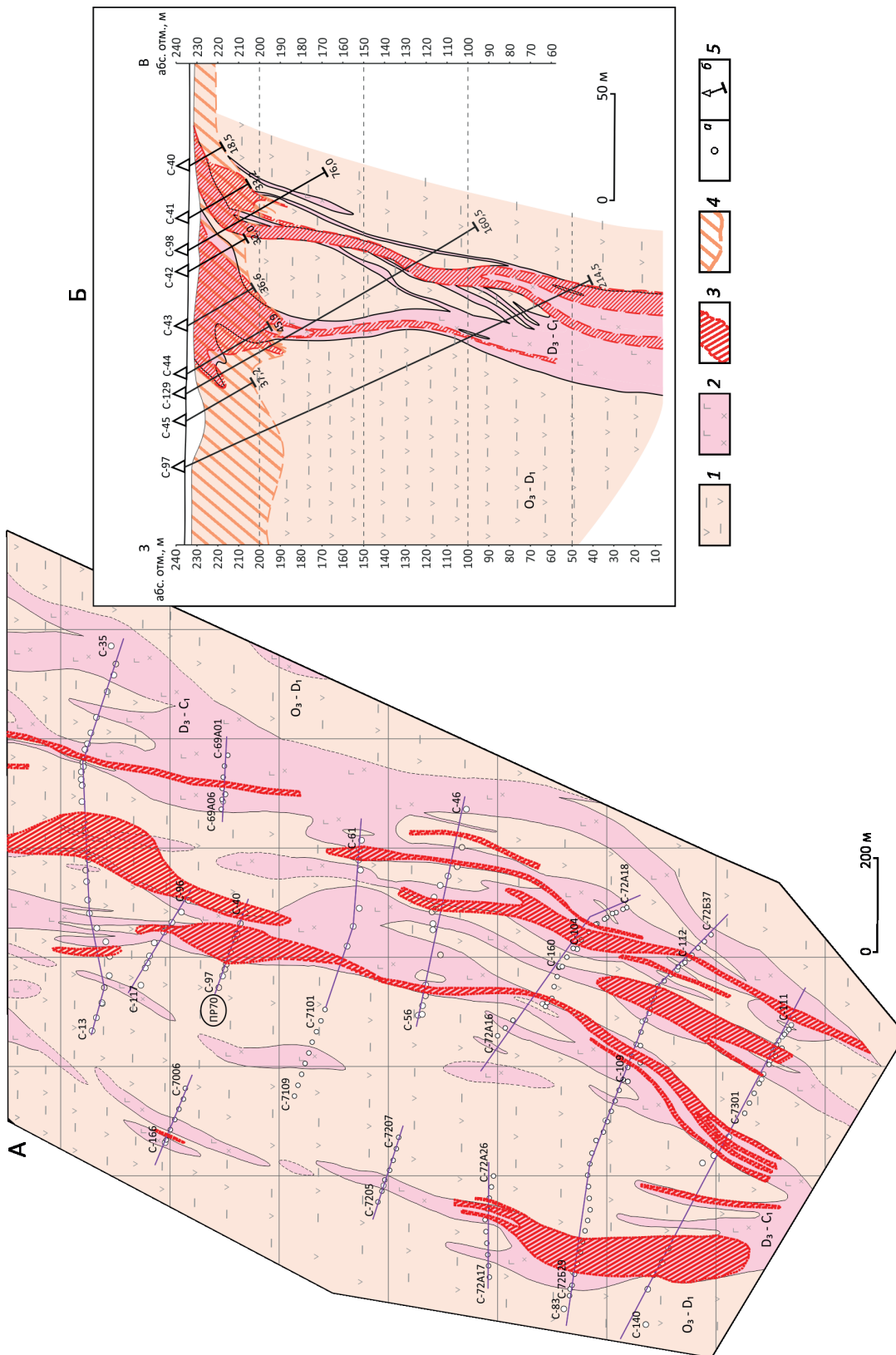


Рис. 2. Геолого-поисковый план (А) и геологический разрез Вилуйской площади (участок Березовый Лог) (Б):

1 – вулканогенно-терригенно-карбонатный комплекс (шуралинская свита (D_{1st}) и ромахинская толща (O_3-S_{1rm})); 2 – габбро, диориты, плагиогранит-порфиры, гранодиорит-порфиры (западновихаринский (C_{1zv} и C_{2zv}) и петрокамменский (D_{3p1} и D_{3p2}) комплексы); 3 – минерализованные зоны, вмещающие первичные золото-сульфидно-кварцевые и окисленные руды; 4 – кора химического выветривания; 5 – скважины поискового бурения; а – в плане, б – на разрезе

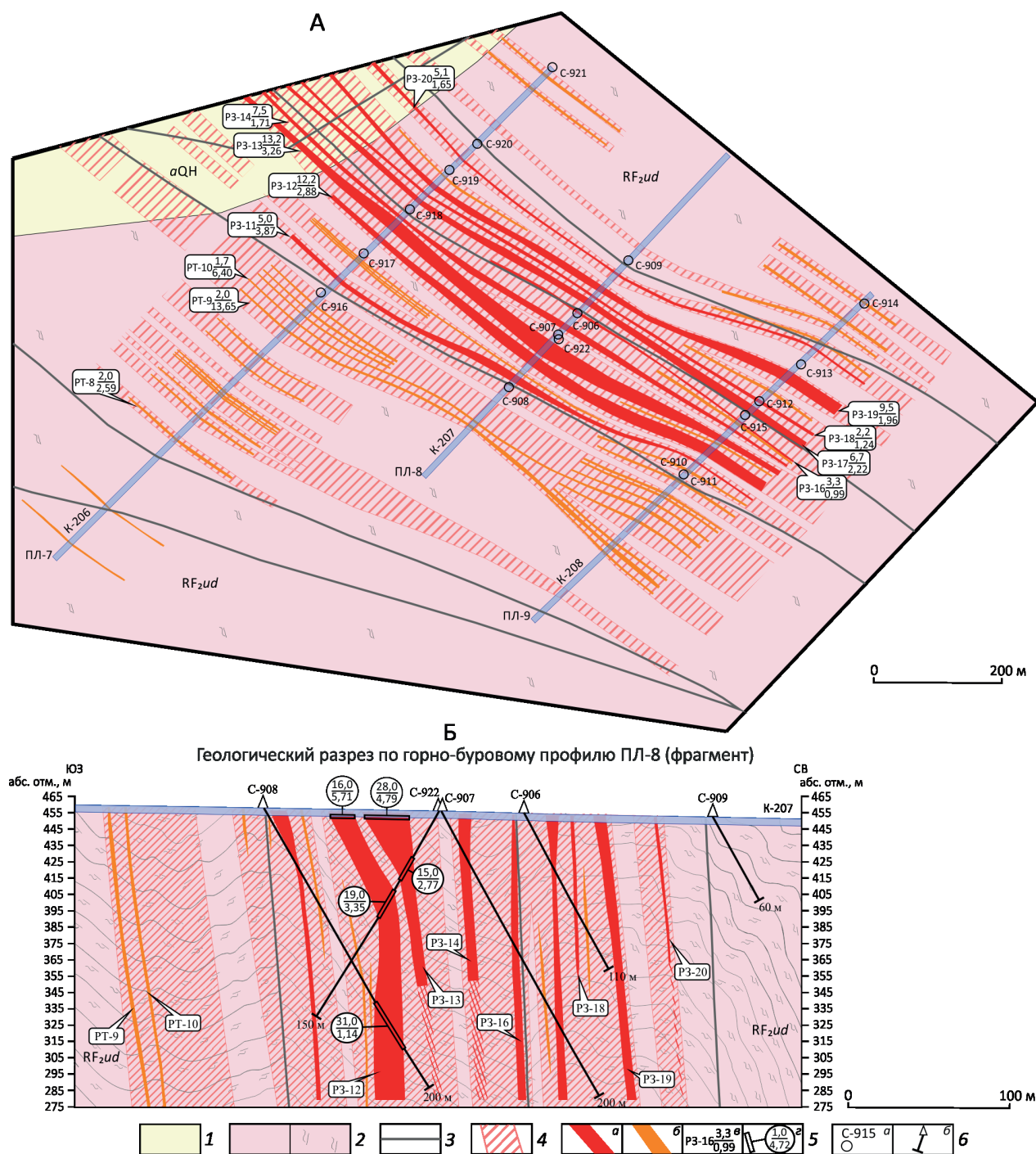


Рис. 3. Геолого-поисковый план (А) и геологический разрез рудоправления Петропавловское (Б):

1 – современные аллювиальные отложения (аQH); 2 – терригенные отложения удерейской свиты среднего рифея (Rf_{2ud}): сланцы углеродсодержащие кварц-серицитового, кварц-хлорит-серицитового составов; 3 – разрывные нарушения; 4 – минерализованные зоны, локализованные по данным химико-спектрального анализа на золото борзодовых проб (с содержанием золота 10–>1000 мг/т); 5 – золоторудные зоны и тела, локализованные по данным атомно-абсорбционного и пробирного анализов борзодовых проб (с содержанием золота >0,5 г/т): а – заверенные на глубине и вошедшие в оценку прогнозных ресурсов золота категории Р₁, б – не заверенные на глубине и вошедшие в оценку прогнозных ресурсов золота категории Р₂; в – параметры рудных тел и их номера (числитель – средняя мощность зоны в метрах, знаменатель – средневзвешенное содержание золота в г/т); г – рудные интервалы в траншеях и скважинах по данным атомно-абсорбционного и пробирного анализов проб (числитель – мощность интервала в метрах, знаменатель – средневзвешенное содержание золота в г/т); б – скважины поискового бурения: а – в плане, б – на разрезе

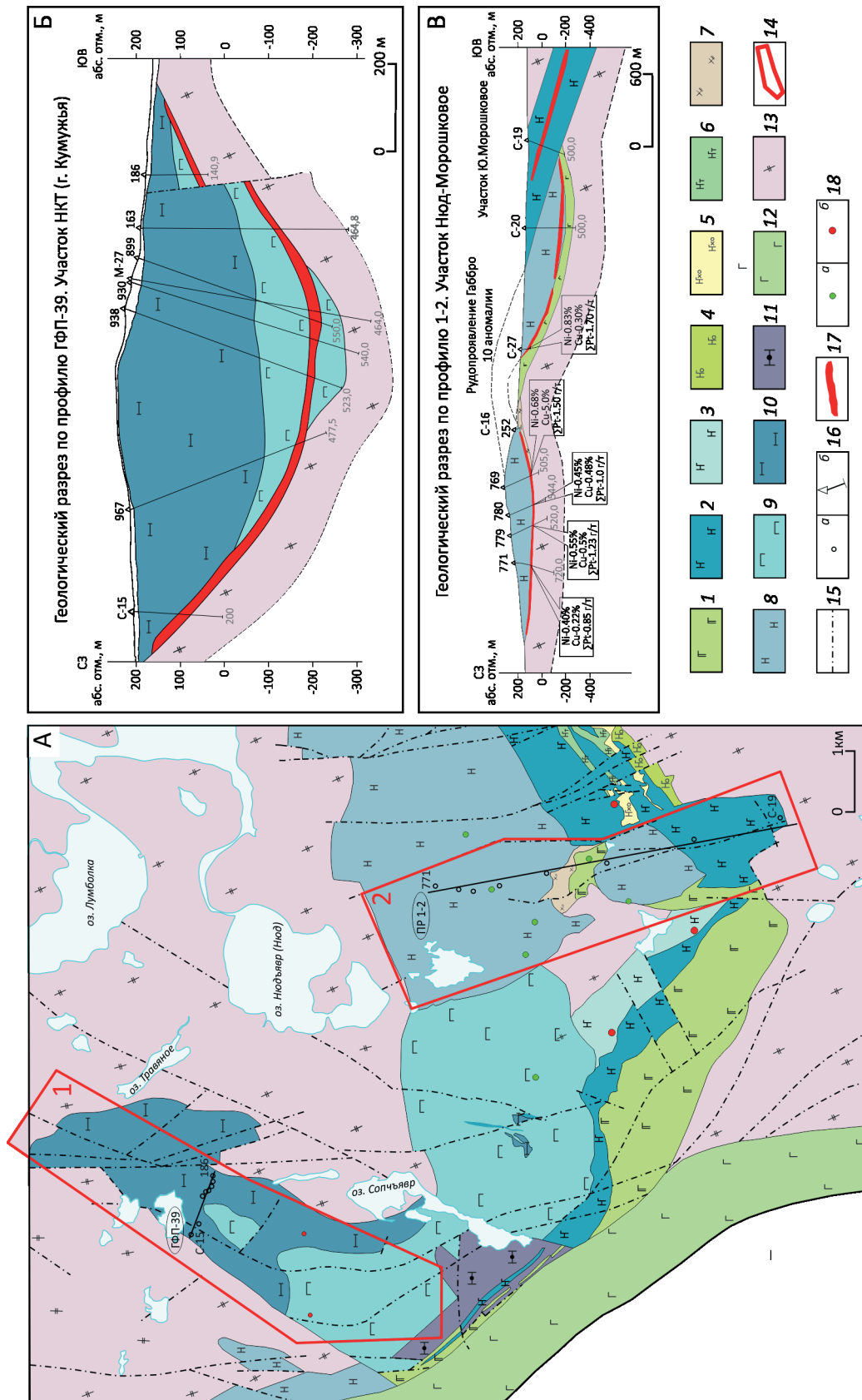


Рис. 4. Схематическая геологическая карта Мончегорского массива (А) и геологические разрезы по участкам НКТ (Б) и Нуд-Моршское (В):

1–11 – породы Мончегорского массива, 12 – габбронориты рассланцованные, 13 – габбронориты лейкократовые, 14 – габбро Мончегорского массива, 15 – породы рамы: гнейсы и диорито-гнейсы, 16 – контуры участков НКТ (1) и Нуд-Моршское (2), 17 – разрывные нарушения, 18 – скважины поискового бурения, 19 – МПГ

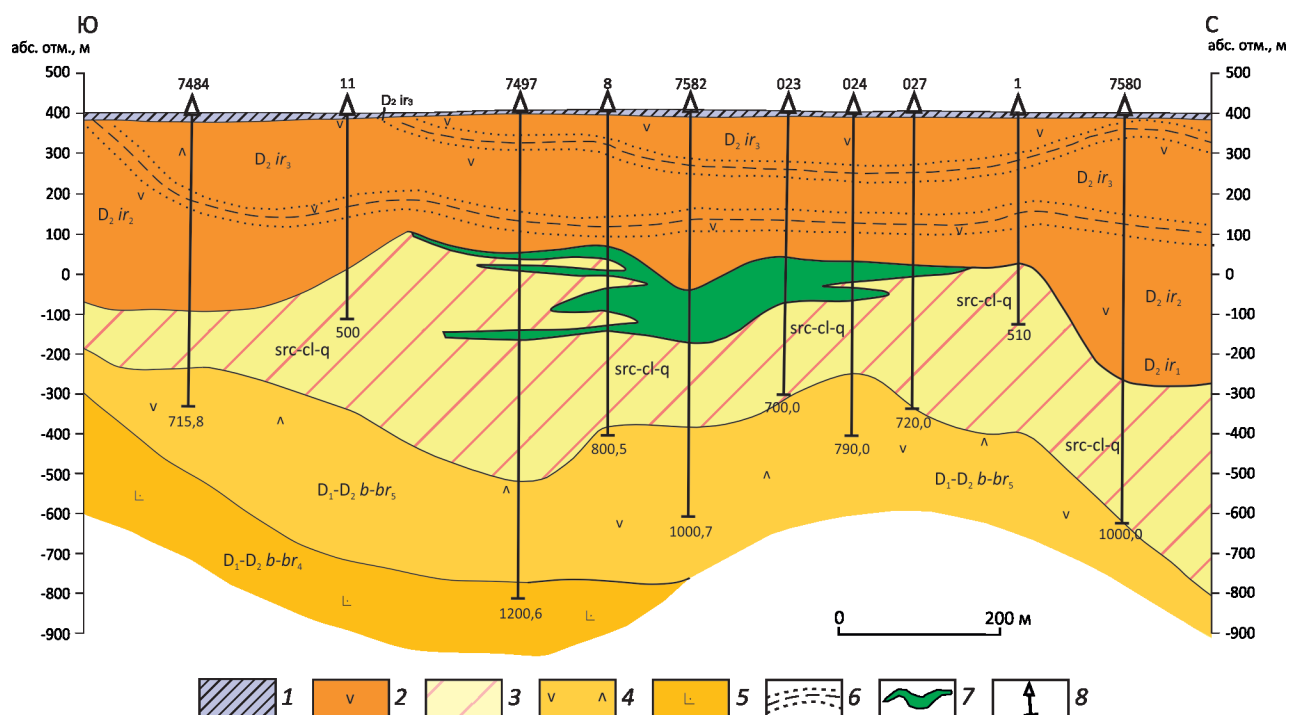


Рис. 5. Геологический разрез рудопроявления Новопетровское:

1 – отложения триаса; 2 – пострудные образования – андезибазальты, андезиты, их туфы (ирендыкская свита, D_2ir_1 – D_2ir_3); 3 – рудовмещающие метасоматически измененные серицит-хлорит-кварцевые породы (баймак-бурибаевская свита, D_1 – D_2b – br_5); 4 – слабоизмененные породы – андезиты, дациты, андезидациты, их туфы (баймак-бурибаевская свита, D_1 – D_2b – br_5); 5 – миндалекаменные андезибазальты (баймак-бурибаевская свита, D_1 – D_2b – br_4); 6 – горизонты туфогенно-осадочных пород; 7 – контур кондиционных рудных залежей; 8 – скважины поискового бурения

В Красноярском крае, в ходе геологоразведочных работ 2015–2017 гг., в пределах Мамон-Петропавловского рудного узла выявлены протяженные минерализованные зоны золото-сульфидно-кварцевого состава в терригенных комплексах докембрия. В их составе установлены и надежно оконтурены линейные рудные тела и рудные зоны, параметры которых отвечают региональным промышленным кондициям, пригодным для отработки открытым (карьерным) способом (рис. 3).

Минерализованные зоны представляют собой зоны интенсивного кварцевого прожилкования с сульфидной минерализацией в кварц-серицитовых, кварц-хлорит-серицитовых сланцах удерейской свиты. Протяженность этих минерализованных зон достигает 1300 м, мощность – до 100 метров и более, оконтуриваются они по содержаниям золота в бороздовых пробах от 0,1 г/т и более. В их составе локализованы рудные зоны и рудные тела мощностью от 1 до 28 м, с содержаниями золота от 0,52 до 9,16 г/т. Оконтуриваются эти рудные зоны и рудные тела лишь по данным лабораторно-аналитических исследований бороздовых и керновых проб.

Для этих рудных тел и зон оценены и апробированы прогнозные ресурсы золота категории P_1 в количестве

51,5 т (при средних содержаниях золота 2,0–3,07 г/т) и категории P_2 – 15,9 т (при средних содержаниях золота 3,4 г/т). Технологические испытания двух малых технологических проб показали, что выявленные руды легкообогащаемы (технологический тип «легкоцианируемые или простые»). Согласно данным геолого-экономической оценки локализованных прогнозных ресурсов золота по укрупненным показателям доказана рентабельность освоения данного рудного объекта, который по масштабам отвечает среднему золоторудному месторождению.

Полученные данные свидетельствуют о целесообразности постановки дальнейших детализационных геологоразведочных работ оценочной стадии.

По результатам проведенных в 2015–2017 гг. поисковых работ на металлы платиновой группы (МПГ), выполненных за счет средств федерального бюджета АО «Росгеология» (субподрядчик АО «Северо-Западное ПГО») при методическом сопровождении ФГУП ЦНИГРИ, в старейшем никеленосном районе Мурманской области в краевой части Мончеплутона на участках НКТ и Нью-Морошковое локализованы и апробированы прогнозные ресурсы комплексных

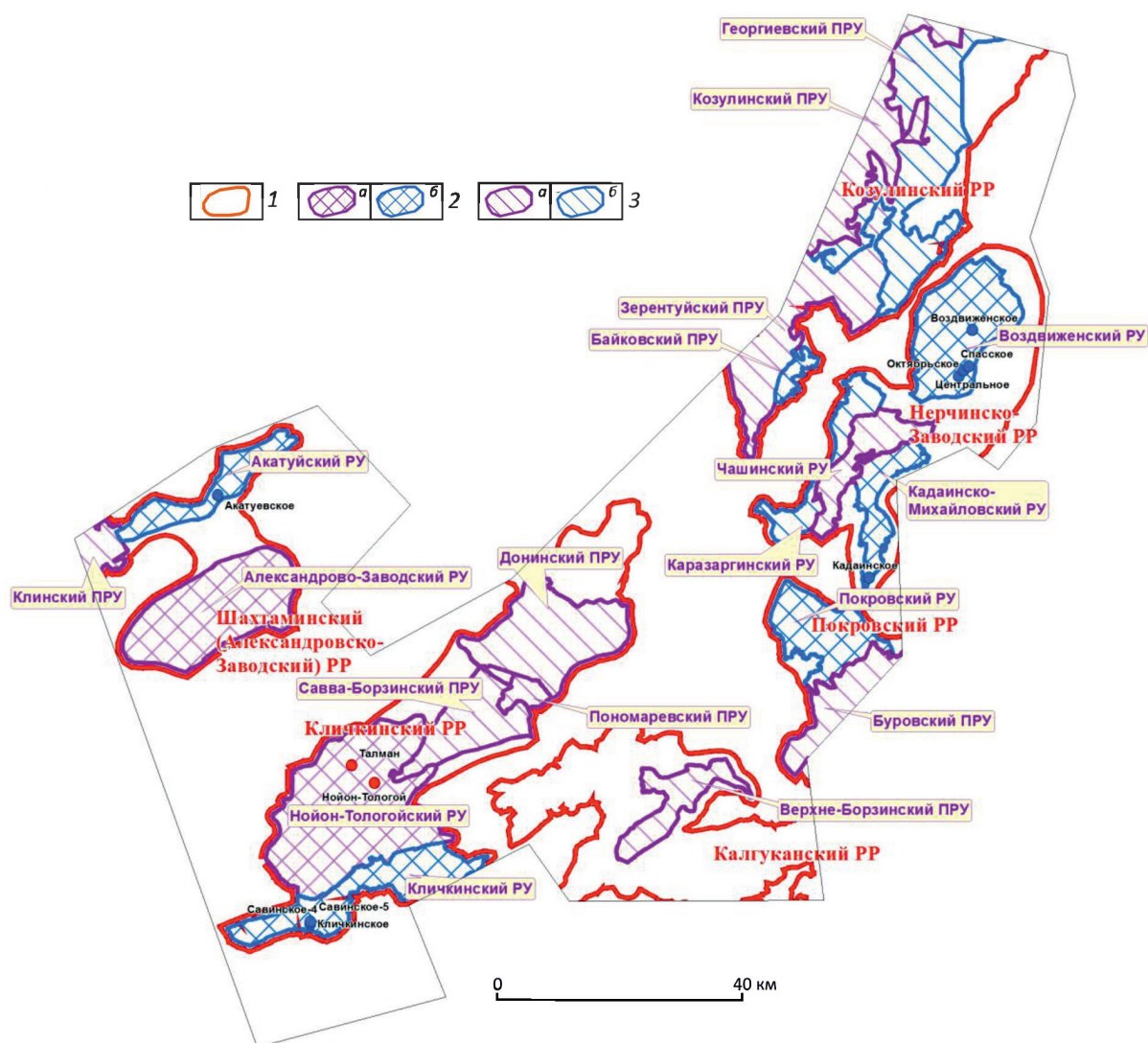


Рис. 6. Схема металлогенического районирования юго-восточной части Приаргунской СФЗ (в контуре проведения работ по проекту). Составитель ФГУП ЦНИГРИ:

1 – рудные районы; 2 – первоочередные рудные узлы, благоприятные для поисков месторождений Нойон-Тологойского (а) и Приаргунского (б) типов; 3 – потенциальные рудные узлы, благоприятные для поисков месторождений Нойон-Тологойского (а) и Приаргунского (б) типов

МПП-содержащих медно-никелевых руд категорий P_1 и P_2 в количествах: по категории P_1 – 402,2 тыс. т никеля, 334,9 тыс. т меди и 123,4 т МПП и по категории P_2 – 122,8 тыс. т никеля, 129,1 тыс. т меди и 40 т МПП (в сумме 525 тыс. т никеля, 464 тыс. т меди и 163,4 т МПП) (рис. 4).

На участке НКТ выявлены сингенетические вкрапленные и эпигенетические жильные руды. Сингенетические вкрапленные руды Донной залежи приурочены к горизонту существенно полевошпатовых пород основного состава и образуют пластовое корытообразное тело, в поперечном сечении имеющее серповид-

ную форму (в соответствии с формой дна интрузива). По простиранию вкрапленные руды прослежены на 4,5 км (до глубины 630 м от поверхности). Мощность их постепенно увеличивается от периферии к осевой части с 2 до 20–30 м. Жильные тела эпигенетических руд приурочены к крутопадающим продольным трещинам в осевой части массива. Морфология и условия залегания рудных тел определяют подземный способ отработки участка НКТ.

На участке Нюд-Морошковое выявлены четыре рудопроявления: Чим-Яур, Терраса, Южно-Морошковое и Габбро 10. Руды вкрапленные, прожилково-

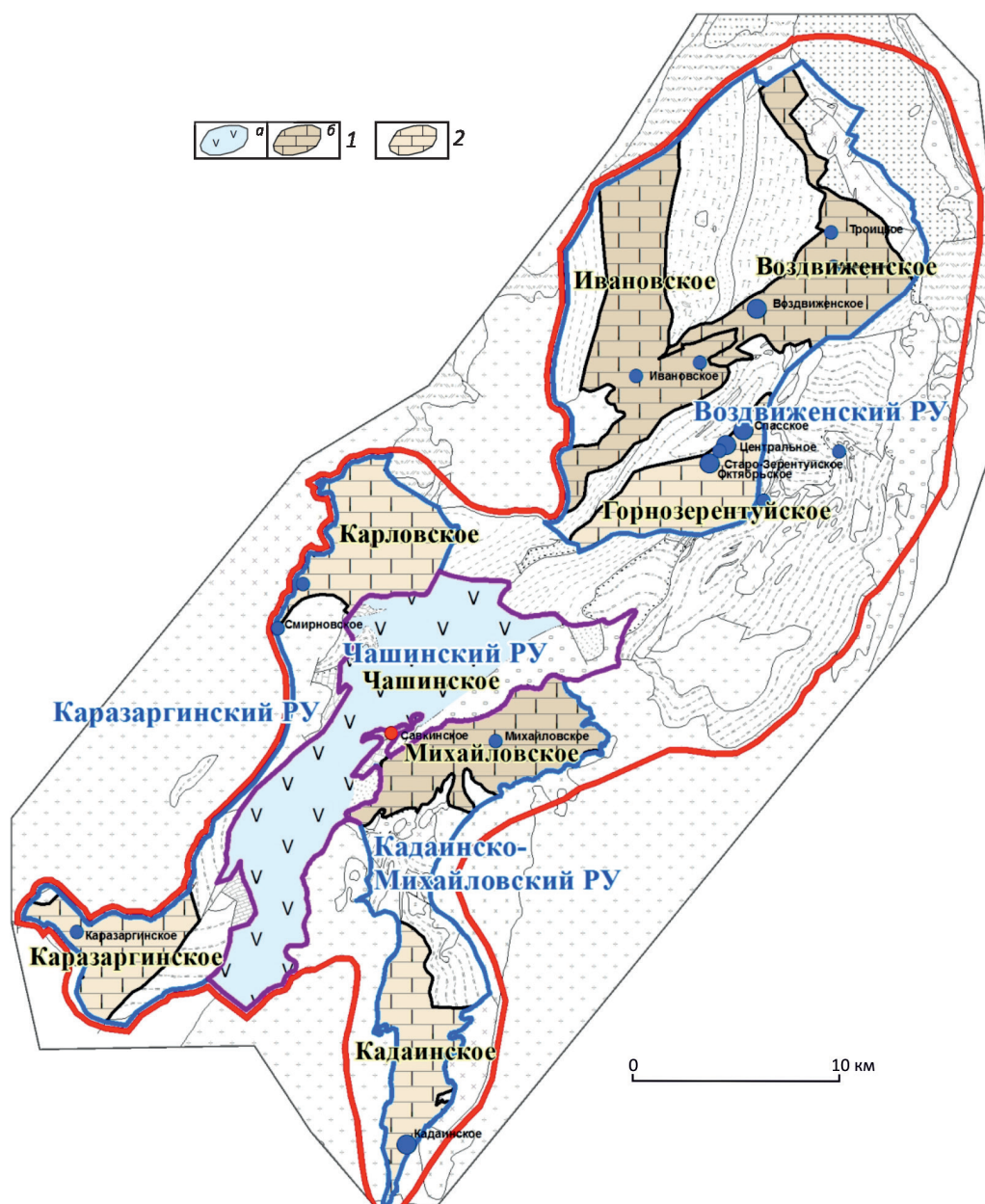


Рис. 7. Схема металлогенического районирования Нерчинско-Заводского рудного района. Составитель ФГУП ЦНИГРИ, с использованием материалов АО «Читагеологоразведка»:

1 – первоочередные рудные поля с известными месторождениями и рудопроявлениями, перспективные для поисков месторождений с оруденением Нойон-Тологойского (а) и Приаргунского (б) типов; 2 – потенциальные рудные поля, в пределах которых возможна локализация площадей с оруденением Приаргунского типа (второй очереди)

вкрапленные, гнездовые. Отработка рудопроявлений участка Нюд-Морошковое предполагается тремя карьерами.

Кондиционная принадлежность объектов с прогнозными ресурсами сульфидных медно-никелевых платиносодержащих руд подтверждена укрупненными геолого-экономическими расчетами, которые по-

казывают возможность их рентабельной разработки с флотационной схемой переработки с получением коллективного концентрата, содержащего никель, медь, кобальт, платину, палладий, золото и серебро.

По результатам работ установлены средние по масштабам объекты, которые могут быть рекомендованы для лицензирования. Продолжение геолого-

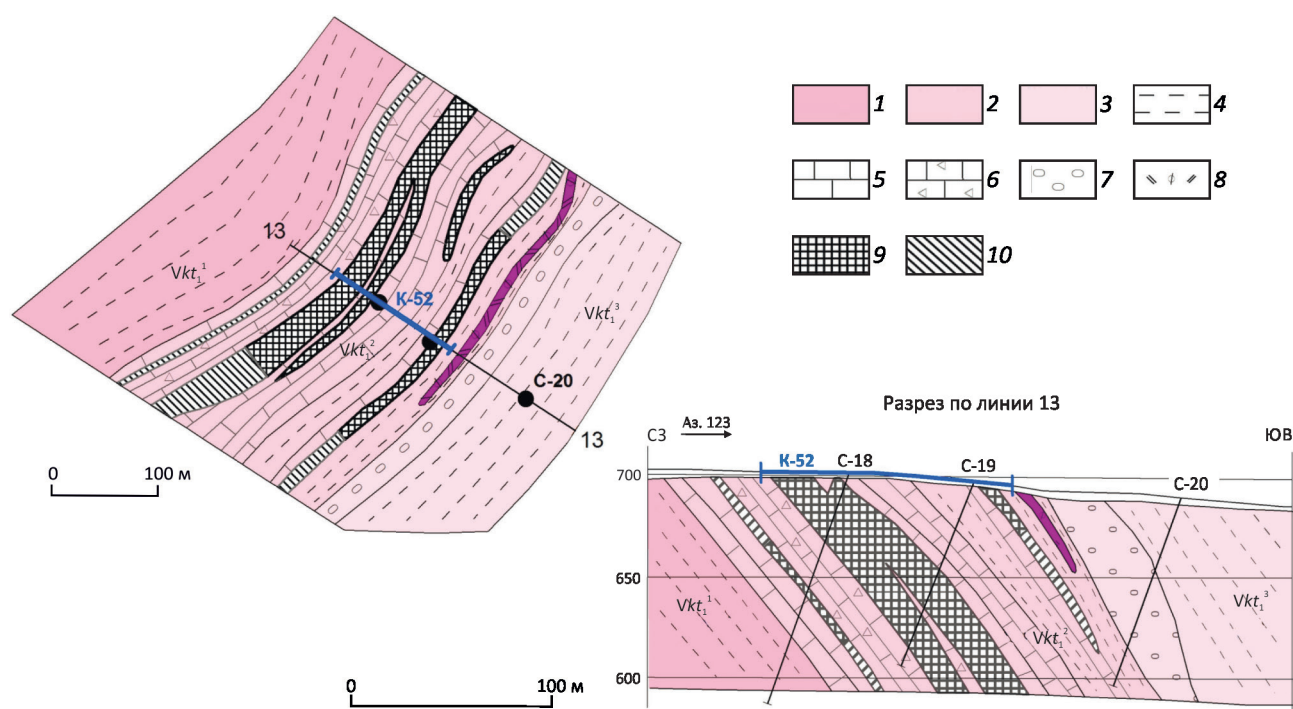


Рис. 8. Положение золото-серебросодержащих рудных зон на Ивановском рудном поле (фрагмент). Составитель ФГУП ЦНИГРИ, с использованием материалов АО «Читагеологоразведка»:

1–3 – туфогенно-карбонатно-терригенная формация: 1 – нижняя, 2 – средняя и 3 – верхняя пачки; 4 – алевролиты; 5 – известняки; 6 – известняковые брекчии; 7 – конгломераты; 8 – риолиты, риодациты афировые; 9–10 – зоны рудной минерализации: 9 – установленные, 10 – предполагаемые

разведочных работ на участке Нюд-Морошковое рекомендуется совместить с пересмотром в установленном порядке балансовой принадлежности запасов месторождения Нюдайвенч, учтенных государственным балансом как забалансовые, блоки которых исключены из подсчета прогнозных ресурсов.

На Южном Урале (Республика Башкортостан), в районе действия Башкирского медно-серного комбината с истощающейся сырьевой базой, по результатам проведенных АО «Росгео» (субподрядчик – АО «СК ПГО») при методическом сопровождении ФГУП ЦНИГРИ геологоразведочных работ за счет средств федерального бюджета в 2015–2017 гг. на объекте: «Поиски месторождений медноколчеданных руд в пределах Новопетровской площади (Республика Башкортостан)» обосновано наличие среднего по масштабам золотосодержащего медно-цинково-колчеданного месторождения в пределах хорошо изученного колчеданосного Баймакского района Южного Урала.

В результате проведенных поисковых работ на Новопетровской площади локализованы и апробированы в ФГУП ЦНИГРИ прогнозные ресурсы категории P_1 : меди – 400 тыс. т (при среднем содержании – 1,44%), цинка – 765 тыс. т (2,37%), золота – 77 т (2,29 г/т).

Оруденение Новопетровского рудопоявления представлено главным образом прожилково-вкрапленной (до густовкрапленной) сульфидной минерализацией пирит-халькопирит-сфалеритового состава в зонах окolorудных кварц-серицит-хлорит-пиритовых метасоматитов. Подчиненную роль играют сплошные массивные руды. Выявленные по данным опробования рудные подсечения прожилково-вкрапленных и сплошных руд в метасоматитах рудовмещающей части разреза пятой толщи баймак-бурибаевской свиты среднего девона расположены на двух уровнях рудо локализации: верхнем, основном (глубины 350–500 м), средней мощностью 12,9 м и нижнем, фрагментарно расположенном (глубины 550–600 м и более) (рис. 5).

При геолого-экономической оценке приняты показатели обогащения руд, полученные на объекте-аналоге – рудопоявлении Утреннее (2012). Для переработки руд рекомендована технологическая схема селективной флотации с получением медного и цинкового концентратов. По этой схеме с учетом последующего передела концентратов на металлургических заводах Урала сквозные извлечения полезных компонентов могут достигать следующих значений (в %): медь – 82,5, цинк – 82,1, золото – 73,8.



1 – рудные узлы; 2 – рудные районы; 3 – рудные поля с известными рудопроявлениями (а) и потенциальные (б); 4 – лавы кислого состава; 5 – туфы кислого состава грубообломочные; 6 – туфы кислого состава мелкообломочные; 7 – туфы основного состава; 8 – туфы основного состава; 9 – известняки; 10 – органогенные известняки; 11 – субвулканические и экструзивные крупнокрапленные риолиты и риодациты; 12 – надрудные отложения; 13 – месторождения и рудопроявления

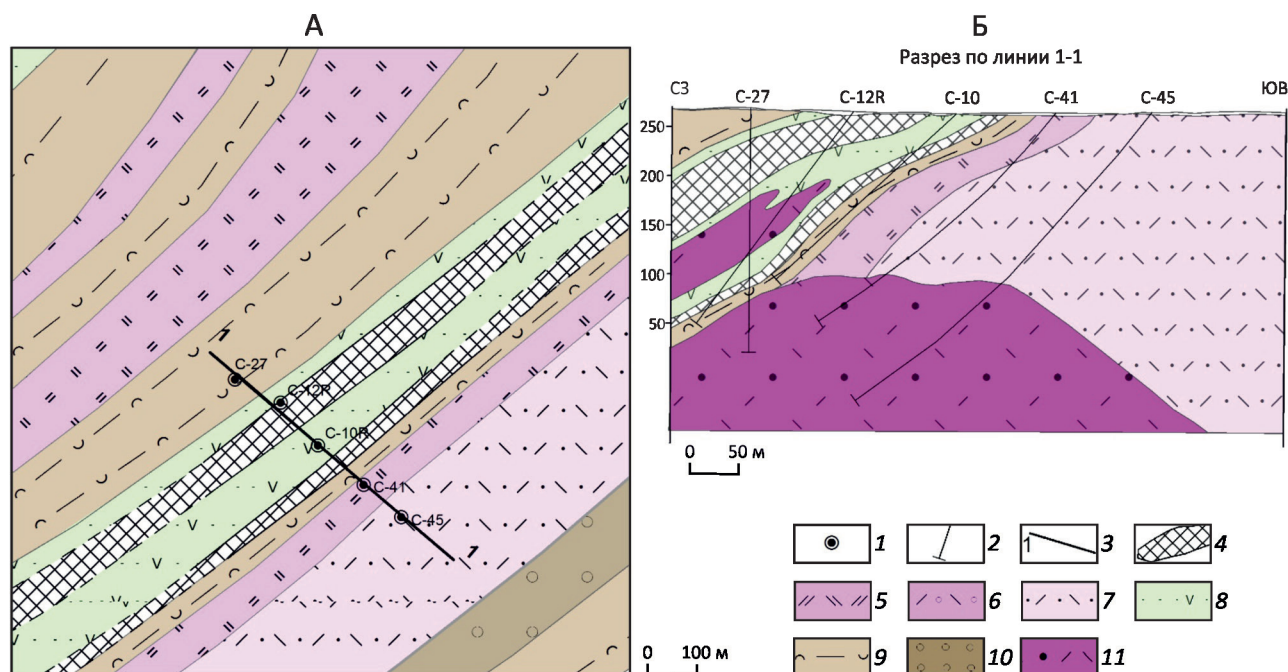


Рис. 10. Положение рудных зон в раннекембрийском вулканогенно-осадочном разрезе в пределах Огнево-Заимковской площади (фрагмент) план (А) и разрез (Б). Составитель ФГУП ЦНИГРИ, с использованием материалов АО «СНИИГГИМС»:

скважины: 1 – на карте и 2 – на разрезе; 3 – линия разреза; 4 – золото-серебросодержащие колчеданно-полиметаллические руды; 5 – лавы кислого состава; 6 – туфы кислого состава грубообломочные; 7 – туфы кислого состава мелкообломочные; 8 – туфы основного состава; 9 – туффиты кислого состава; 10 – песчаники и конгломераты; 11 – субвулканические и экструзивные крупновкрапленные риолиты и риодациты; рудный узел (см. рис. 8)

Параметры выполненной геолого-экономической оценки, качество локализованных руд свидетельствуют о высоких перспективах выявления в пределах контура Новопетровского рудопоявления промышленно-значимого месторождения медно-цинково-колчеданных золотосодержащих руд, экономически рентабельных для отработки шахтным способом, что позволяет рекомендовать постановку в пределах Новопетровского рудопоявления дальнейших оценочных работ. Полученные результаты показывают, что ресурсная база медно-колчеданных руд Урала не исчерпана, и работы в регионе необходимо продолжать.

В одном из старейших горнорудных районов Восточного Забайкалья на обширной территории (>11 000 км²) АО «Читагеологоразведка» и ФГУП ЦНИГРИ выполняли работы по проекту «Поисковые работы с оценкой перспектив золото-полиметаллического оруденения основных рудных районов и узлов Приаргунской структурно-формационной зоны (Забайкальский край)». На первом этапе ФГУП ЦНИГРИ в результате обобщения и анализа всех геолого-геофизических материалов по территории работ были составлены карты закономерностей размещения и прогноза колчеданно-полиметаллического оруденения, проведено металлогеническое

районирование с выделением рудных районов, узлов и рудных полей с ранжированием их по степени перспективности. Из 19 рудных узлов в качестве первоочередных выделено семь (рис. 6), а в их пределах локализованы перспективные площади в ранге рудных полей (рис. 7), для которых проведен комплекс детальных (геофизических, геохимических и горно-буровых) работ. В результате выявлены субсогласные минерализованные колчеданно-полиметаллические зоны с оруденением на Михайловской (Чашинское проявление), Савва-Борзинской (Харганатуйское проявление), Донинской (проявление скв. 7), Воздвиженской и Ивановской площадях. В частности, на Ивановской площади скважинами (линия 13) в брекчированных окварцованных, сульфидизированных, лимонитизированных сланцах и известняках мощность полиметаллической минерализованной зоны с неравномерно развитой пирит-сфалеритовой, реже галенитовой прожилково-вкрапленной минерализацией составила около 100 м (рис. 8). По данным аналитических исследований отобранных керновых проб, в ее пределах выделены два рудных тела с содержаниями условного цинка от 2,48 до 15,5% при стволовой мощности от 1 до 27 м. Их протяженность по простиранию более 1500 м, по падению – до 350 м. Кроме свинца и

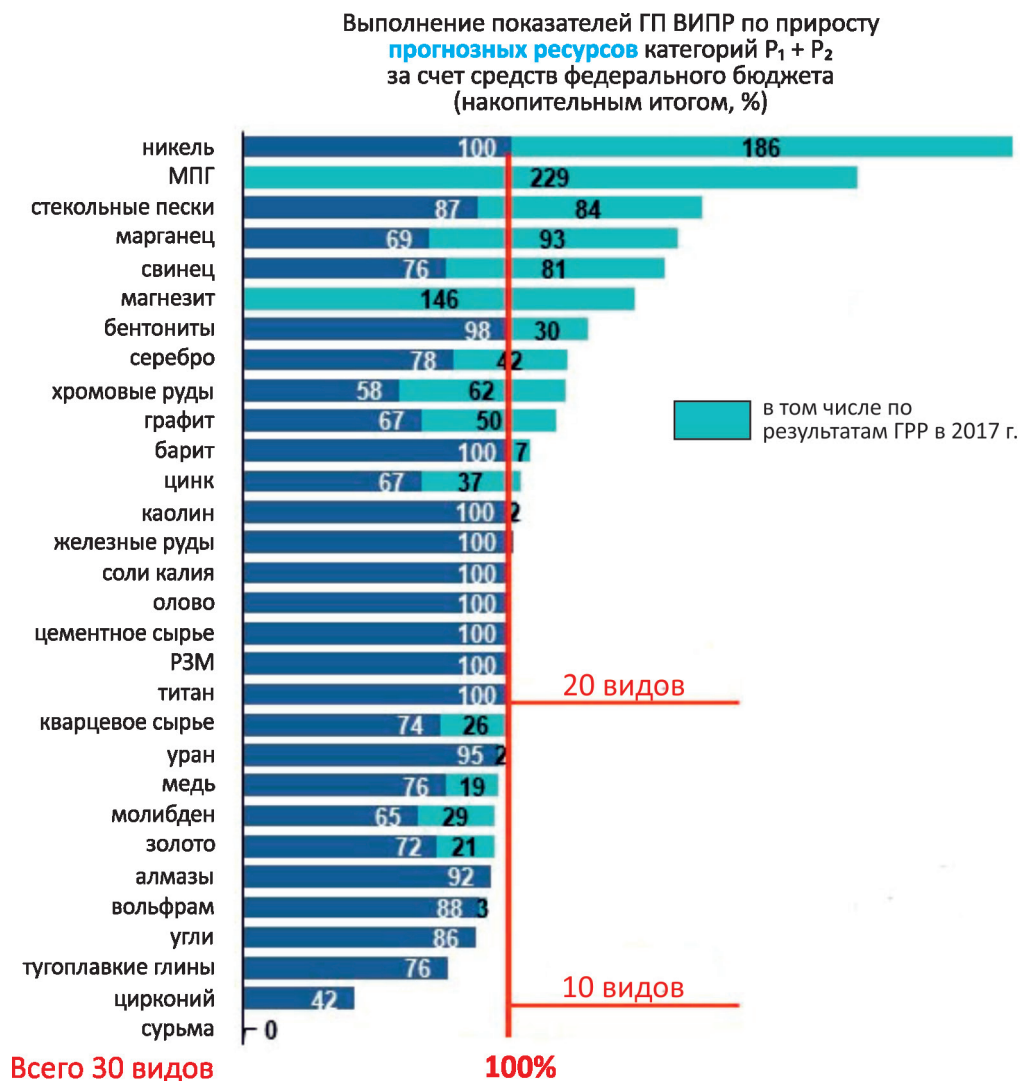


Рис. 11. Выполнение подпрограммы 1 «Воспроизводство минерально-сырьевой базы, геологического изучения недр» государственной программы «Воспроизводство и использование природных ресурсов» в части твердых полезных ископаемых

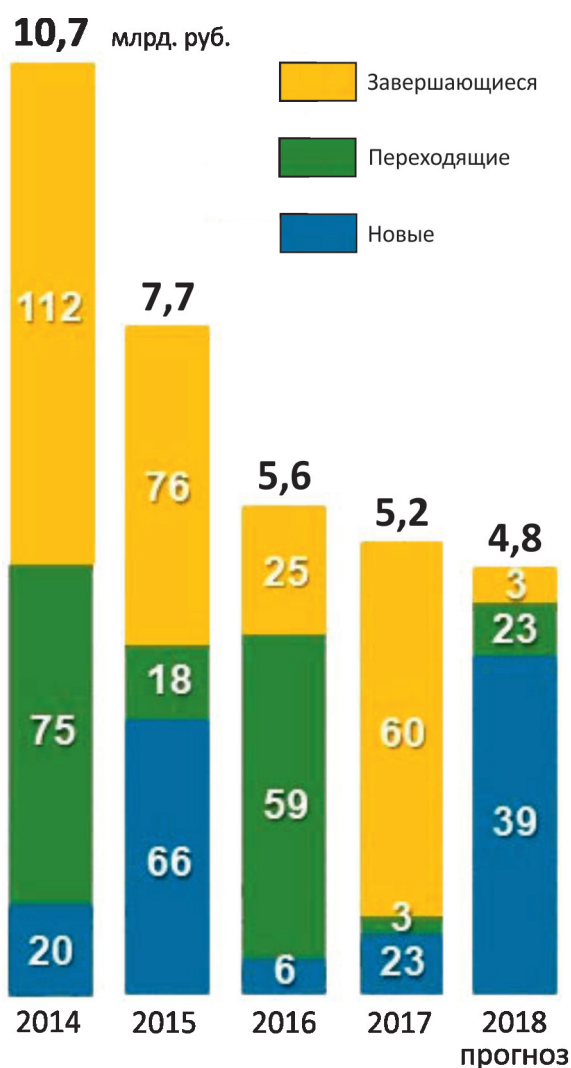
цинка в значимых концентрациях в рудах присутствует золото, содержания которого в подошве основного рудного тела достигают 1,4 и 5,7 г/т на мощность 10–15 м. Апробированные суммарные прогнозные ресурсы категории P_2 составили: свинца – 1043 тыс. т, цинка – 1543 тыс. т, серебра – 4171 т, золота – 35 т, что превысило плановые показатели в 3,5 – 5 раз.

В Салаирском Кряже в рамках проекта «Поисковые работы с оценкой перспектив колчеданно-полиметаллического с золотом оруденения основных рудных районов и узлов Салаирской металлогенической зоны» на площади 19,3 тыс. км² АО «ЗабСибгеолсъемка», АО «СНИИГГИМС» и ФГУП ЦНИГРИ проведены работы, во многом методически аналогичные Забайкальским. На первом этапе ФГУП ЦНИГРИ и АО «СНИИГГИМС»

на основе анализа всего комплекса материалов (геологических, литолого-стратиграфических, литолого-фациальных, геохимических и геофизических) выделены рудные районы и рудные узлы, которые ранжированы по степени перспективности. В качестве наиболее перспективных выделены Салаирский (Салаирско-Урский и Ускадинский рудные узлы) и Огнево-Рамановский рудные районы (Огневский рудный узел) (рис. 9).

В пределах рудных узлов с учетом составленных прогнозно-поисковых моделей выделены перспективные площади в ранге рудных полей – Огнево-Заимковская, Вершинно-Каменушинская, Ускадинская.

Наиболее перспективной является Огнево-Заимковская площадь, которая приурочена к вулканической впадине, сложенной раннекембрийскими вулканогенно-



Направления работ в 2018 г.

Вид полезного ископаемого	Объем финансирования, млрд. руб.	Количество объектов
Благородные металлы	2,2	43
Алмазы	0,2	2
Цветные металлы	1,4	8
Уран	0,4	5
Черные металлы	0,3	2
Уголь	0,2	3
Неметаллические полезные ископаемые	0,07	2

Рис. 12. Особенности планирования

карбонатно-терригенными образованиями (рис. 10). В ее пределах выявлены две рудные зоны с золото-серебросодержащим колчеданно-полиметаллическим оруденением. Рудная минерализация представлена сфалеритом, галенитом, халькопиритом, пиритом. Зоны мощностью 16 и 9 м со средними содержаниями условного цинка соответственно 6,03 и 6,81% и достаточно высокими содержаниями (в г/т) серебра 81–147 и золота до 0,3. Длина рудных зон по простиранию 1400–1700 м, по падению 300–400 м.

В результате проведенных геологоразведочных работ по проекту оценены прогнозные ресурсы категории P_2 : меди – 725,7 тыс. т, свинца – 613 тыс. т, цинка – 1404,6 тыс. т, золота – 92,9 т, серебра – 8734,4 т, что превышает плановые в 1,5 – 5 раза.

Необходимо отметить, что выполненные работы в пределах Приаргунской и Салаирской структурно-формационных зон по сути своей являются прообразом прогнозно-минерагенических работ (с научно-исследовательским первым этапом), проведение которых планируется в будущем для расширения «поискового задела». Полученные по объектам результаты свидетельствуют об их высокой эффективности. Выбранный комплекс работ должен найти более широкое применение при будущих подобных работах.

На рис. 11 приведено выполнение плановых показателей ВИПР (ее утвержденной корректировки) в 2017 г. С учетом приростов *прогнозных ресурсов* накопительным итогом будут выполнены показатели по 20 видам ТПИ из 30. Среди них: никель, металлы платиновой группы, стекольные пески, марганец, свинец, серебро, цинк и др.

Кроме того, за счет средств федерального бюджета завершаются работы, проводимые в рамках подпрограммы Минпромторга «Развитие промышленности редких и редкоземельных металлов». К концу декабря в ГКЗ представлены все необходимые материалы для проведения экспертизы по трем крупным редкометалльным месторождениям – Томторское, Чуктуконское, Отбойное, а также небольшому россыпному Куларскому месторождению. Запасы на Томторском и Чуктуконском рудных полях редких земель 2000 и 2700 тыс. т, ниобия – 380 и 440 тыс. т, соответственно. Запасы тантала на Отбойном месторождении составят 10 тыс. т, запасы редких земель в отвалах россыпных месторождений золота Куларского района – 13,5 тыс. т.

Снижение объемов финансирования (рис. 12) и связанная с этим неравномерность введения новых объектов усложняет планирование ГРП и обуславливает неравномерность достижения плановых показателей ВИПР. В 2018 г. завершатся лишь 3 объекта, в то время как количество новых составит 39. Основными направлениями работ традиционно будут являться геологоразведочные работы на благородные и цветные металлы, в меньшей степени – на уран, черные металлы, уголь, алмазы и неметаллические полезные ископаемые.

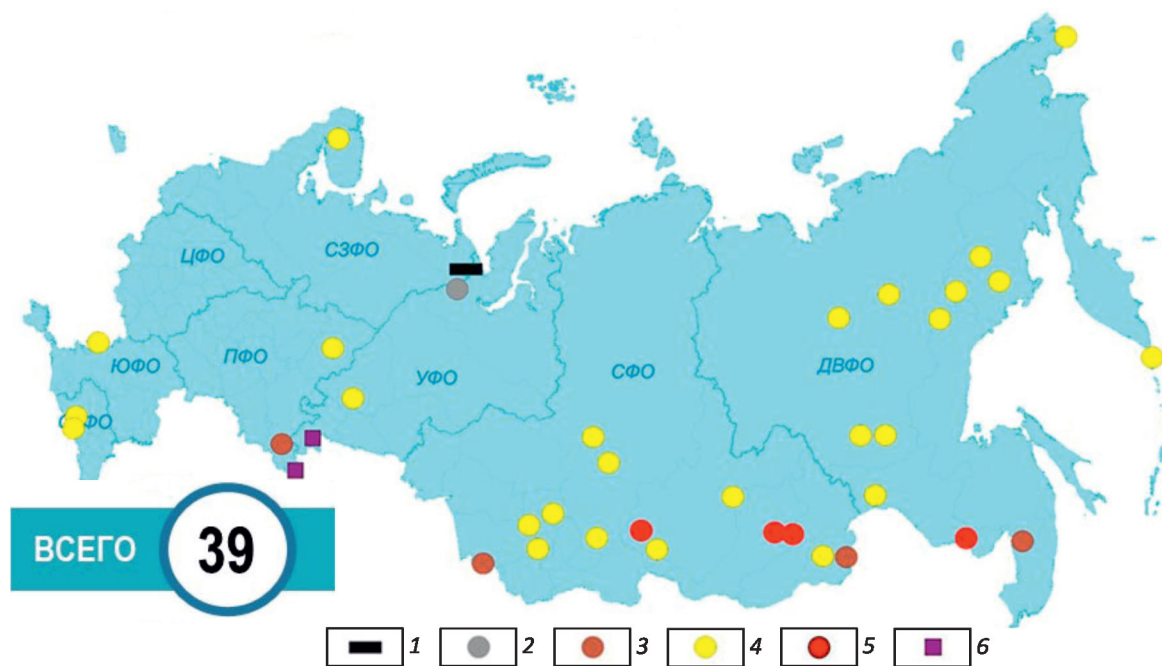


Рис. 13. Новые объекты ГРП, планируемые к постановке за счет средств федерального бюджета в 2018 г.:

1 – уголь; 2 – черные, 3 – цветные и 4 – благородные металлы; 5 – уран; 6 – неметаллические полезные ископаемые



Рис. 14. Переходящие и завершающиеся объекты ГРП ФБ в 2018 г.:

переходящие объекты: 1 – уголь, 2 – черные, 3 – цветные и 4 – благородные металлы, 5 – алмазы; завершающиеся объекты: 6 – благородные металлы

В 2018 г. из планируемых к постановке 39 новых объектов геологоразведочных работ большая часть (27) будет реализована на территории Дальневосточного и Сибирского федеральных округов (рис. 13). На новых объектах работы будут проводиться по 10 видам ТПИ (всего работы будут вестись на 19 видов), из которых на благородные металлы – 27 объектов. Кроме того, будут продолжены работы по 23 переходящим и 3 завершающимся объектам (рис. 14).

По результатам вышеизложенного можно сделать следующие выводы:

плановые показатели ГП ВИПР в 2017 г. с учетом ожидаемых приростов прогнозных ресурсов накопительным итогом выполнены по 20 видам ТПИ из 30;

в результате ГРР, выполняемых за счет федерального бюджета и недропользователей, получены приросты запасов, обеспечивающие простое и расширенное воспроизводство основных видов полезных ископаемых;

доля затрат на проведение ГРР существенно смещается в сторону недропользователей и в настоящее время соотношение с затратами федерального бюджета составляет 10:1 за счет увеличения объемов геолого-

разведочных работ на площадях, полученных недропользователями по «заявительному» принципу.

Несмотря на достаточно высокую результативность работ, осуществляемых за счет средств федерального бюджета и недропользователей, а также выполнение основных показателей ВИПР, более глубокий анализ обеспеченности горнодобывающих предприятий на средне- и долгосрочную перспективу не дает столь радужных представлений. Проводимый в настоящее время ВИМС и ЦНИГРИ анализ состояния и использования минерально-сырьевой базы как в части обеспеченности запасами действующих горнорудных предприятий, так и темпов погашения высоковольтных видов полезных ископаемых, подтверждает существующий ряд проблем, требующих оперативного решения. Это и в целом обеспеченность запасами отдельных отраслей, и региональные проблемы по отдельным видам полезных ископаемых. Выработываемые при этом анализе критерии должны быть положены в основу разработки новой государственной программы по воспроизводству минерально-сырьевой базы России.

Состояние, перспективы развития и освоения минерально-сырьевой базы золота в Российской Федерации

А.И.ИВАНОВ, А.И.ЧЕРНЫХ, С.С.ВАРТАНЯН (Федеральное государственное унитарное предприятие Центральный научно-исследовательский геологоразведочный институт цветных и благородных металлов (ФГУП ЦНИГРИ); 117545, г. Москва, Варшавское шоссе, д. 129, корп. 1)

Рассмотрено современное состояние минерально-сырьевой базы коренного и россыпного золота. Проведен анализ динамики запасов и состояния прогнозных ресурсов различных категорий. Показаны результаты пересчета Кадастра прогнозных ресурсов в условные запасы категории C_2 с использованием статистически рассчитанных переводных коэффициентов. Показана недостаточная обеспеченность прогнозными ресурсами для поддержания на длительную перспективу современного состояния балансовых запасов и производства золота. Обоснована необходимость усиления геологоразведочных работ ранних стадий за счет средств федерального бюджета для подготовки прогнозных ресурсов и создания «поискового задела».

Ключевые слова: золото, минерально-сырьевая база, запасы, прогнозные ресурсы, геологоразведочные работы.

Иванов Анатолий Иннокентьевич
Черных Александр Иванович
Вартанян Сергей Серопович



a.ivanov@tsnigri.ru
chernykh@tsnigri.ru
vartanyan@tsnigri.ru

Gold mineral base status and development prospects in the Russian Federation

A.I.IVANOV, A.I.CHERNYKH, S.S.VARTANYAN (Federal State Unitary Enterprise Central Research Institute of Geological Prospecting for Base and Precious Metals, FSUE TsNIGRI)

The article considers the modern state of mineral-primary and placer gold mineral-raw. Analysis dynamics of reserves and the state of inferred resources of different categories was carried out. The main target of the research is to demonstrate the results of recalculation the Cadastres of inferred resources into conditional C_2 reserves with using of statistically calculated conversion coefficients. The authors demonstrate the lack of inferred resources to support the modern state of demonstrated reserves and gold production in the long term. It was established that reinforcement of geological prospecting at the early stages from the Federal Budget funds is necessary for the inferred resources and development prospecting «backlog» creation.

Key words: gold, mineral base, reserves, inferred resources, geological prospecting.

В Российской Федерации основные золотоносные металлогенические провинции и месторождения золота расположены в Дальневосточном, Сибирском и Уральском федеральных округах [4–6] (рис. 1). По запасам золота Россия занимает второе место в мире (после ЮАР). Балансовые запасы сосредоточены в собственно золоторудных (67%), комплексных (25%) и в россыпных (8%) месторождениях (табл. 1). Большая их часть находится в распределенном фонде недр, лишь для запасов категорий ABC_1 россыпных месторождений доля нераспределенного фонда значительна – около 50% (см. табл. 1). Невостребованными являются малорентабельные или нерентабельные россыпные месторождения, характеризующиеся низкими содержаниями золота и(или) сложными условиями отработки (большая мощ-

ность перекрывающих отложений, высокая обводненность, неблагоприятные климатические условия и др.).

Прогнозные ресурсы золота весьма значительны (около 40 тыс. т), но более 60% из них составляют малодостоверные прогнозные ресурсы категории P_3 (см. табл. 1). В связи с этим, как будет показано ниже, они не могут обеспечить достаточное воспроизводство запасов золота на длительную перспективу.

Запасы собственно золоторудных месторождений в России с 2004 г. значительно возросли (рис. 2) как за счет доразведки «старых» объектов, запасы которых ранее поставлены на баланс, так и разведки «новых», запасы которых впервые поставлены на баланс. Анализ этого прироста (рис. 3, табл. 2) показывает, что в 2006 и 2007 гг., когда он был весьма значительным, запасы

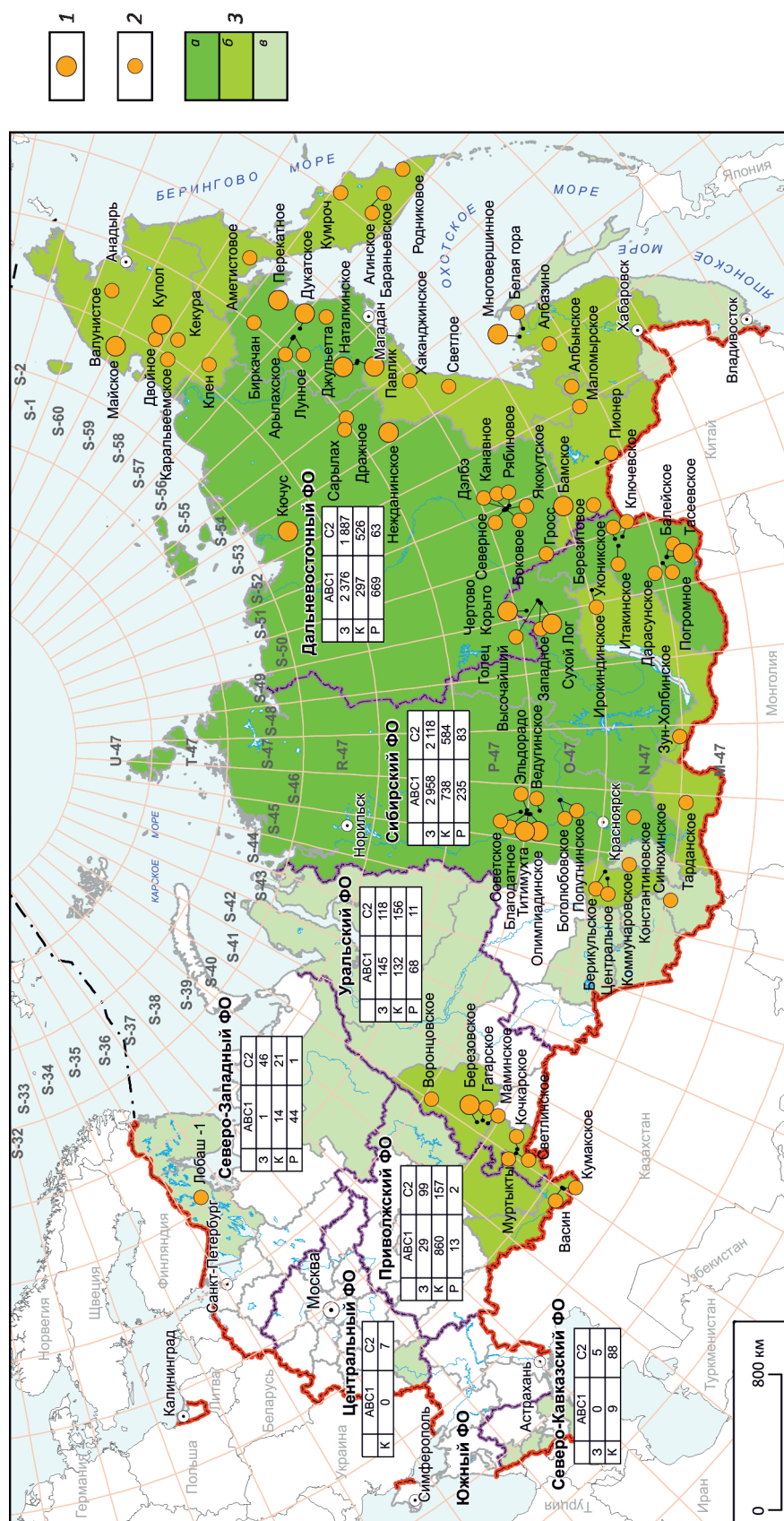


Рис. 1. Схема распределения запасов золота по субъектам Российской Федерации:

месторождения золота: 1 – крупные и 2 – средние и мелкие; 3 – субъекты РФ с запасами золота категорий ABC₁, C₂ (в т.ч.): а – >1000, б – 100–1000, в – <100; сведения о запасах золота по федеральным округам на 01.01.2017 г.: 3 – собственно золоторудные, К – комплексные, Р – россыпные месторождения

1. Состояние минерально-сырьевой базы золота России на 01.01.2017 г.

Запасы, тыс. т			
Категории (количество месторождений):	ABC ₁	C ₂	ABC ₁ +C ₂
Золоторудные собственные (383)	5,502	4261	9,763
Россыпные (5340)	1,029	0,159	1,189
Комплексные (медные, никелевые и др. – 171)	2,050	1,539	3,589
Общие (5894)	8,581	5,960	14,541
Распределенный фонд запасов, %			
Золоторудные собственные	61,1	74,5	67,0*
Россыпные	50,7	63,7	52,3
Комплексные	93,4	86,7	90,6
Всего	68,0	77,6	71,9
Прогнозные ресурсы, тыс. т			
Категории:	P ₁	P ₂	P ₃
Золоторудные собственные (1117)	5,2	10,4	24,79
Россыпные	0,7	0,6	0,15
Общие	5,9	11,0	24,93

Примечание. * – без учета месторождения Сухой Лог (с его учетом: A+B+C₁ – 88,5%, C₂ – 88,9%, A+B+C₁+C₂ – 88,7%); место по запасам в мире – второе (после ЮАР).

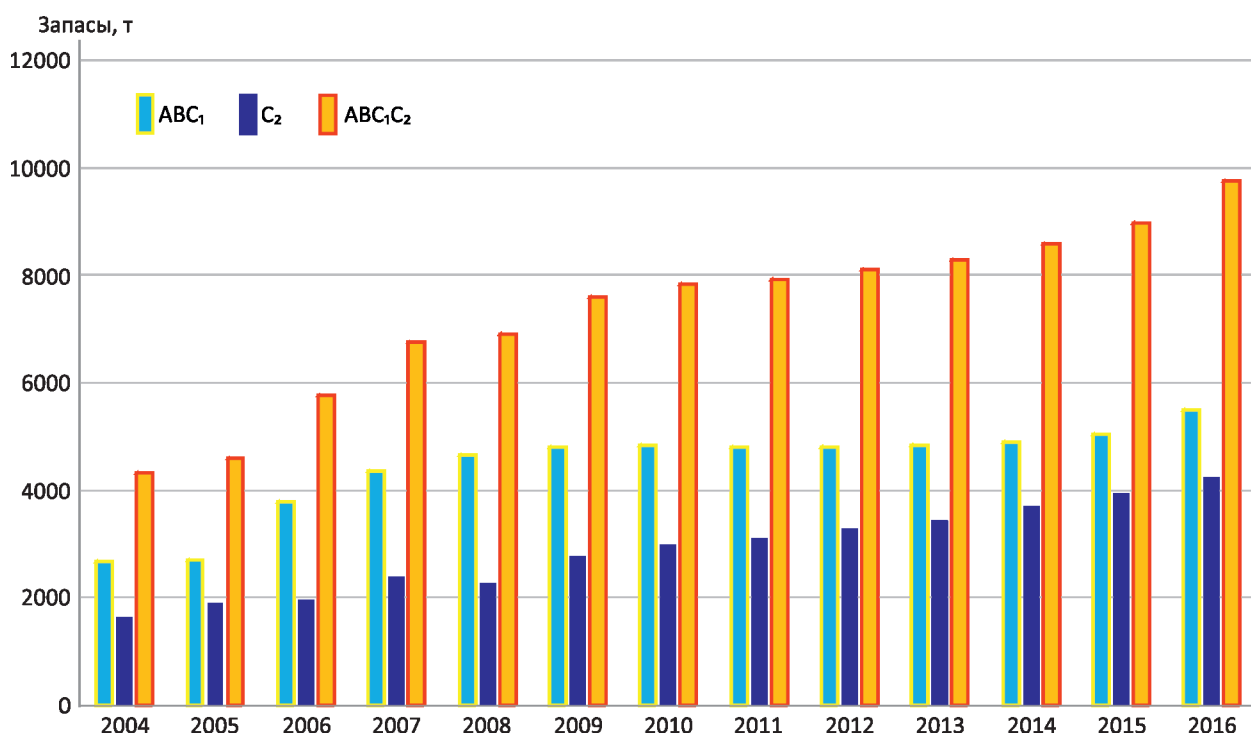


Рис. 2. Запасы золота собственно золоторудных месторождений Российской Федерации

возросли за счет доразведки и переоценки месторождения Наталкинское и переоценки месторождения Сухой Лог. Увеличение балансовых запасов в 2009 г. обусловлено в значительной степени доразведкой группы месторождений – Неждановского, Олимпиадинского, Та-

сеевского, Бамского, а в 2015 и 2016 гг. – Вернинского и Олимпиадинского (см. рис. 3). Хотя, начиная с 2007 г., на ряде месторождений впервые поставлены запасы на баланс (см. рис. 3), по существу все они известны с советских времен. Важным является еще один аспект:

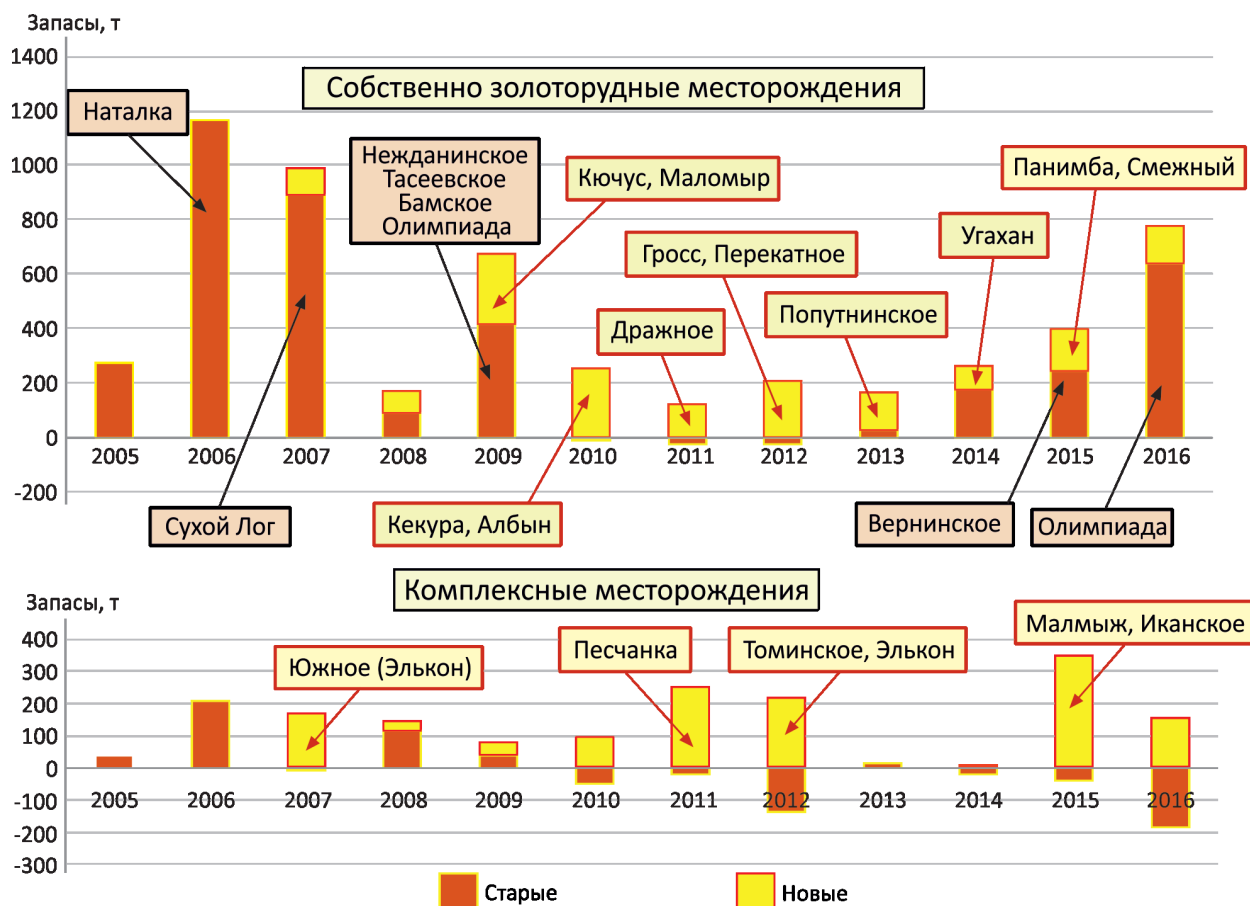


Рис. 3. Прирост суммарных запасов $ABC_1 + C_2$ по «новым» (впервые поставленным на баланс) и «старым» (доразведка) рудным месторождениям

2. Ежегодные приросты балансовых запасов золота в Российской Федерации и расчет средних ежегодных приростов по «старым» и «новым» месторождениям

Годы	Приросты балансовых запасов золота								
	ABC_1			C_2			$ABC_1 + C_2$		
	Всего	«Старые»	«Новые»	Всего	«Старые»	«Новые»	Всего	«Старые»	«Новые»
2008	341,6	322,1	19,5	-49,2	-140,7	91,5	292,4	181,4	111
2009	97,6	-22,7	120,3	634,9	449,5	185,4	732,5	426,8	305,7
2010	23,8	-129,5	153,3	242,5	40,5	202	266,3	-89	355,3
2011	116	-82,7	198,7	187,7	8,7	179	303,7	-74	377,7
2012	-50,7	-98,1	47,4	291,5	-89,7	381,2	240,8	-187,8	428,6
2013	5,9	-30,7	36,6	161,9	44,9	117	167,8	14,2	153,6
2014	-47,1	-79,6	32,5	267,4	207	60,4	220,3	127,4	92,9
2015	153,4	23,4	130	533,2	151,9	381,3	686,6	175,3	511,3
Среднее количество ежегодных приростов балансовых запасов	80,1	-12,2	92,3	263,5	84,0	199,7	363,8	71,8	292,0
Среднее количество ежегодных приростов производства золота с учетом сред. извл. 75,2%	60,2	-9,2	69,4	198,2	63,2	150,2	273,6	53,7	218,4

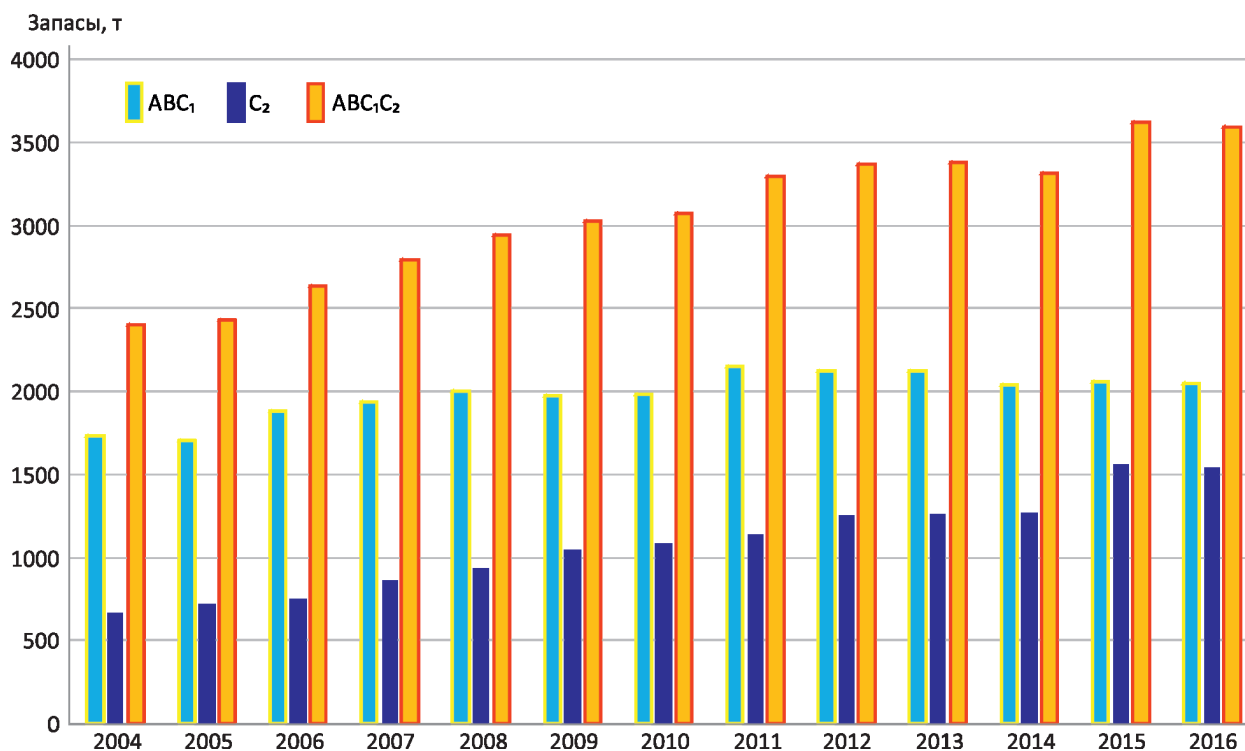


Рис. 4. Запасы золота комплексных золоторудных месторождений Российской Федерации

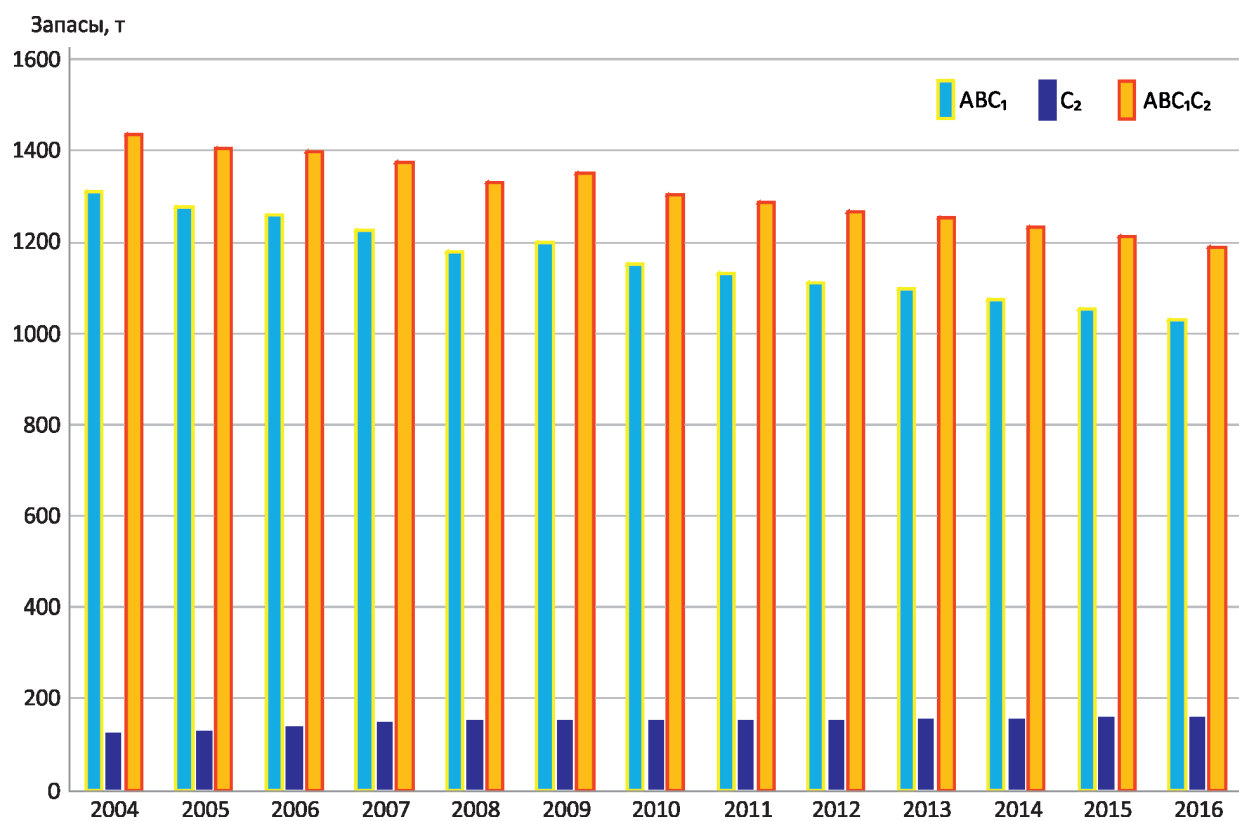


Рис. 5. Запасы золота россыпных месторождений Российской Федерации

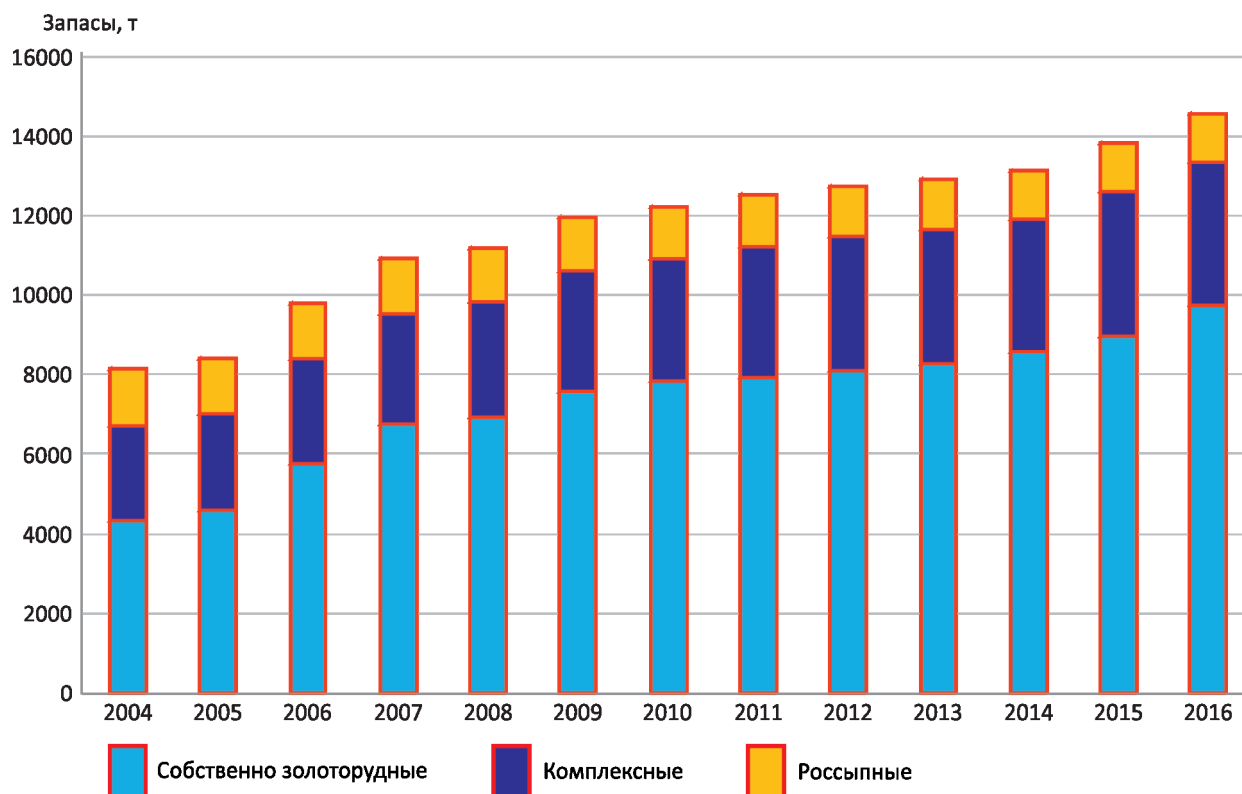


Рис. 6. Запасы ABC_1C_2 золота собственно золоторудных, комплексных и россыпных месторождений золота в Российской Федерации

начиная с 2009 г. балансовые запасы увеличиваются в основном за счет увеличения запасов непромышленной категории C_2 , тогда как запасы промышленных категорий ABC_1 — сохранялись на одном уровне. Лишь в 2015 и 2016 гг. они возросли в основном за счет доразведки Вернинского и Олимпиадинского месторождений (см. рис. 3).

Во многом аналогичная ситуация с динамикой балансовых запасов золота в комплексных месторождениях (рис. 4): с 2011 г. запасы промышленных категорий (ABC_1) снижаются, а общий рост балансовых запасов происходит за счет категории C_2 . Причем рост балансовых запасов происходит в основном за счет разведки давно известных комплексных рудных объектов — золото-уранового Эльконского (в том числе Южного участка), золото-медно-порфировых — Песчанки, Томинского, Иканского, Малмыжского (см. рис. 3). Лишь Малмыжское месторождение, изучаемое ранее как золоторудный объект, в определенной степени является новым, хотя прогноз на выявление здесь золото-медно-порфирового месторождения сделан Ю.П.Змеевским еще в 1989 г.

Запасы россыпного золота промышленных категорий ABC_1 непрерывно снижаются (рис. 5) и при сохранении сформировавшегося тренда полностью будут отработаны к 2071 г. Запасы категории C_2 изменяются

очень слабо, что обусловлено, с одной стороны, их приуроченностью в основном к объектам нераспределенного фонда недр, а с другой — вновь разведанные запасы этой категории в течение того же сезона подвергаются отработке и фактически не учитываются в государственном балансе. В связи с тем, что доля запасов россыпного золота от общих запасов относительно невелика (на 01.01.2017 г. — около 8%), их уменьшение слабо заметно при анализе динамики суммарной минерально-сырьевой базы золота (рис. 6), хотя, как уже отмечено, увеличивается она в большей мере за счет категории C_2 .

Следует отметить, что особенностью минерально-сырьевой базы золота Российской Федерации является то, что весьма значительная доля балансовых и забалансовых запасов сосредоточена в четырех уникальных по запасам собственно золоторудных месторождениях — Олимпиадинском, Сухой Лог, Неждандинском и Наталкинском. Их доля от собственно золоторудных месторождений составляет по запасам промышленных категорий 63,6%, категории C_2 — 36,7%, суммарно от ABC_1+C_2 — 51,9%, забалансовых — 39,5%. А от общих запасов соответственно 40,8%, 26,2%, 34,8% и 28,8% (табл. 3). В связи с этим МСБ России весьма чувствительна к возможной переоценке запасов этих

3. Запасы золота уникальных собственно золоторудных месторождений и их доля в общероссийских запасах

Месторождения	Запасы			
	ABC ₁	C ₂	ABC ₁ +C ₂	Забалансовые
Олимпиадинское	588	400	988	4
Сухой Лог	1379	563	1942	740
Нежданинское	279	353	632	17
Наталкинское	1260	250	1510	121
Итого	3506	1566	5072	882
Всего по РФ запасы в собственно золоторудных месторождениях	5509	4272	9781	2232
Всего по РФ запасы золота	8588	5971	14559	3065
Процент запасов уникальных месторождений от собственно золоторудных месторождений	63,6	36,7	51,9	39,5
Процент от общих запасов по РФ	40,8	26,2	34,8	28,8

месторождений. Так, например, на месторождении Наталкинское, где на балансе стоят 1510 т запасов категорий ABC₁C₂, по сведениям ПАО «Полюс» после переоценки запасов доказанные и вероятные запасы составляют 507 т [1], соответственно [2] планируется в течение всего срока эксплуатации (31 год) производить ежегодно по 14 т золота, то есть производство золота в целом составит 434 т (среднее извлечение – 85,6%). Таким образом, вероятно снижение балансовых запасов на 1003 т. Не исключена подобная ситуация и на Нежданинском месторождении – по данным АО «Полиметалл» первичные рудные запасы (для открытой добычи) и дополнительные минеральные ресурсы содержат около 224 т золота, что более чем на 300 т меньше балансовых запасов [3]. На месторождении Сухой Лог в настоящее время проводится доразведка, по результатам которой запасы также могут измениться по сравнению с балансовыми.

Данные по ежегодному списанию с Госбаланса запасов собственных, комплексных и россыпных месторождений золота (добыча) и реальному производству золота при эксплуатации этих месторождений с 2004 по 2016 гг. приведены на рис. 7 и в табл. 4. Средний процент полученного золота за этот период относительно списываемых с Госбаланса запасов составил 75,2%, соответственно суммарные потери золота (технологические потери при переработке руды, целиках и др.) составили 24,8%.

В табл. 4 также приведены данные по попутному производству золота из всех типов месторождений и сведения по общему производству за период 2004–2016 гг. По оценке Союза золотопромышленников общее производство золота из месторождений за 2017 г. должно составить около 270 т.

Как уже отмечалось, прогнозные ресурсы рудного золота весьма значительны (см. табл. 1) и, на первый взгляд, могут обеспечить подготовку промышленных

запасов на долгую перспективу. Для оценки количества балансовых запасов, которые могут быть получены в процессе проведения геологоразведочных работ, проведены специальные расчёты:

статистически по результатам геологоразведочных работ на золото за средства федерального бюджета рассчитаны коэффициенты перевода прогнозных ресурсов из категории в категорию: из категории P₃ в категорию P₂=0,4; из категории P₂ в категорию P₁=0,6; из категории P₁ в категорию C₂=0,7;

статистически по результатам геологоразведочных работ на золото за средства федерального бюджета рассчитан коэффициент успешности объектов при переводе прогнозных ресурсов категорий P₃ в P₂, P₂ в P₁, P₁ в C₂ (к неуспешным отнесены в том числе объекты, где по результатам работ прогнозные ресурсы оценены, но количественно они стали значительно ниже, чем до начала работ) – он во всех случаях равен 0,5;

с использованием этих коэффициентов пересчета прогнозные ресурсы собственно золоторудных объектов (1117 шт.) Кадастра прогнозных ресурсов с использованием (привлечением) разработанных математических алгоритмов пересчитаны (раздельно – нераспределенный и распределенный фонды) с подразделением их на три группы потенциально-промышленных объектов по величине условных (расчетных) запасов категории C₂ – >20, 10–20 и <10 т, соответственно, рассчитано количество потенциально-промышленных объектов по каждой группе (табл. 5);

статистически рассчитан «коэффициент добычи» за последние годы – отношение добычи (списания балансовых запасов) к общему количеству балансовых запасов в Госбалансе – 1,76%;

статистически рассчитаны возможные сроки начала эксплуатационных работ из объектов Кадастра прогнозных ресурсов при условии непрерывного последовательного (успешного) проведения геологоразведочных

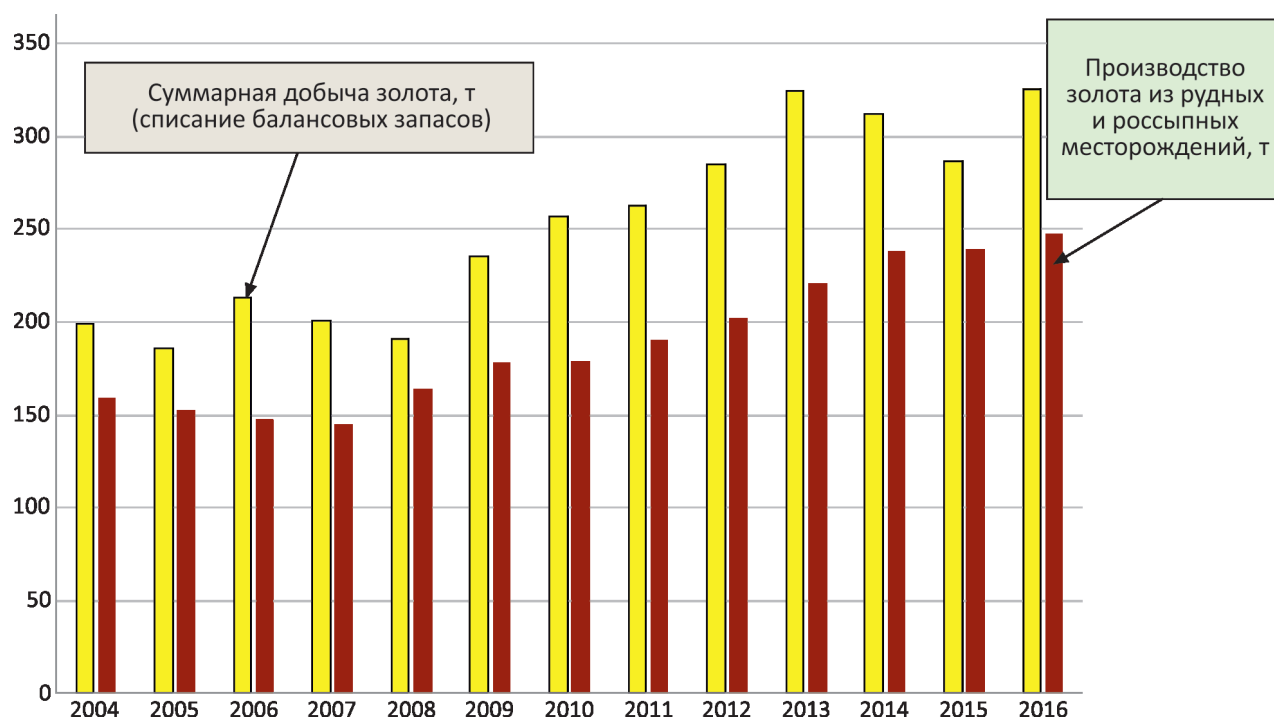


Рис. 7. Суммарная добыча и производство золота из золоторудных и россыпных месторождений в Российской Федерации, среднее извлечение золота, в % (средние общие потери золота при добыче – 24,8%)

4. Добыча (списание балансовых запасов) и производство золота в Российской Федерации за период 2004–2016 гг.

Собственно золоторудные, комплексные и россышные месторождения золота							Иные месторождения (попутное производство)	Всего производство из месторождений
Годы	Балансовые запасы золота, т			Добыча, т	Производство, т	Процент полученного золота		
	ABC ₁	C ₂	Всего					
2004	5716,1	2434,7	8150,8	199,3	158,9	79,7	10,4	169,3
2005	5677,2	2740,5	8417,7	186	152,1	81,8	11,2	163,3
2006	6917,9	2870,9	9788,8	212,8	147,6	69,4	11,7	159,3
2007	7519,1	3388,4	10907,5	200,7	144,9	72,2	12,1	157
2008	7839,2	3340	11179,2	190,5	163,9	86,0	12,5	176,4
2009	8070,6	3973,2	12043,8	235	178,4	75,9	14,5	192,9
2010	7982	4217,4	12199,4	256,5	179,1	69,8	12,7	191,8
2011	7828	4406,6	12234,6	262,2	190	72,5	14,5	204,5
2012	8047,3	4698,1	12745,4	284,6	201,8	70,9	17,5	219,3
2013	8053,3	4860,2	12913,5	324,4	221,1	68,2	16	237,1
2014	8006,2	5127,7	13133,9	311,8	238	76,3	16,2	254,2
2015	8159,5	5657,7	13817,2	286,6	238,7	83,3	16,6	255,3
2016	8581,9	5960	14541,9	324,8	247,6	76,2	14,8	262,4
Сумма				3275,2	2462,1	75,2*		

Примечание. * – средний процент полученного золота.

работ, завершающихся подсчетом запасов, и строительства добывающего предприятия: для объектов с ресурсной оценкой по категории P_2 – 10 лет, по категории P_3 – 16 лет.

Таким образом, общие запасы потенциально-промышленных собственно золоторудных объектов, в которые можно реализовать прогнозные ресурсы Кадастра, могут составить 2602 т, из них 1579 т – в объектах

5. Ожидаемые условные запасы категории C_2 и количество потенциально-промышленных объектов (результат пересчета кадастра прогнозных ресурсов)

Показатели	Всего	В том числе по группам по потенциальным запасам			
		Более 20 т	Менее 20 т, в том числе		
			10–20 т	Менее 10 т	Всего менее 20 т
Всего C_2 условные (ожидаемые балансовые запасы), т	2602	1579	446	577	1023
Количество объектов, шт.	187	37	35	115	150
Условные C_2 в нераспределенном фонде недр, т	1715	1011	312	392	704
Условные C_2 в распределенном фонде недр, т	887	568	134	185	319
Итого объектов в НРФН, шт.	124	22	25	77	102
Итого объектов в РФН, шт.	63	15	10	38	48

с запасами более 20 т (всего 37 объектов, из них 22 в нераспределенном фонде недр). Годовая добыча золота из всех объектов, рассчитанная с использованием коэффициента добычи, может составить около 46 т и, соответственно, производство золота с учетом потерь в 24,8% – 34 т/год. Срок полной добычи – 56 лет. При увеличении объема годовой добычи соответственно уменьшится срок полной отработки выявленных месторождений.

Приведенные данные свидетельствуют о том, что имеющиеся прогнозные ресурсы совершенно недостаточны для обеспечения подготовки запасов и последующей добычи на современном уровне.

Анализ ежегодного прироста балансовых запасов промышленных категорий ABC_1 (см. табл. 2) за счет доразведки известных эксплуатирующихся месторождений и разведки новых месторождений за 2008–2015 гг. (исключены годы с «аномальными» приростами из-за пересчета запасов и доразведки уникальных по запасам месторождений Сухой Лог, Наталкинское, Олимпиадинское) свидетельствует также о недостаточном их количестве для сохранения производства золота на современном уровне на долгую перспективу – около 80 т/год, а в пересчете на производство («извлечение» 75,2%) – около 60 т/год. Следует отметить, что частично прирост балансовых запасов по новым месторождениям будет осуществляться при проведении геологоразведочных работ на объектах распределенного фонда недр Кадастра прогнозных ресурсов (см. табл. 3), поэтому простое суммирование значений прогнозируемого среднегодового производства золота из месторождений, выявленных при геологоразведочных работах на объектах Кадастра прогнозных ресурсов (34 т/год) и статистически полученного за 2008–2015 гг. прироста (60 т/год), вряд ли корректно. По-видимому, реальный прирост добычи будет меньше.

Таким образом, прирост балансовых запасов золота промышленных категорий за счет доразведки «старых» и разведки «новых» месторождений, в том числе при проведении геологоразведочных работ на объектах

Кадастра прогнозных ресурсов, уже в обозримой перспективе не сможет обеспечить сохранение производства золота из месторождений золота на имеющемся уровне (см. табл. 2).

Что касается запасов категории C_2 , прирост которых довольно значителен (см. табл. 2), то обычно они ставятся на госбаланс на стадии предварительной разведки как по старым (фланги и глубокие горизонты), так и по новым месторождениям. Затем в их контуре в результате более детальных разведочных работ выделяются блоки с запасами промышленных категорий для проведения эксплуатационных работ. За 2008–2015 гг. суммарные подготовленные запасы промышленных категорий от запасов категории C_2 составляют около 30%, что, по-видимому, необходимо учитывать при анализе МСБ золота.

При определенных условиях (повышение цены золота, появление новых более экономичных технологий добычи и обогащения и др.) возможным резервом для получения балансовых запасов являются забалансовые, количество которых в целом по Российской Федерации составляет на 01.01.2017 г. 3065 т (см. табл. 3). Хотя прогнозировать, какая их часть и в какой временной период может стать балансовой, в настоящее время сложно.

Приведенные выше данные свидетельствуют о необеспеченности в обозримой перспективе подготовки балансовых запасов золота прогнозными ресурсами Кадастра. А так как прогнозные ресурсы являются результатом геологоразведочных работ ранних стадий, соответственно эти работы требуют усиления.

До последнего времени подобные работы проводились в основном за счет средств федерального бюджета. Анализ фактического финансирования таких геологоразведочных работ на золото за период с 2005 по 2017 гг. и планируемого на 2018–2020 гг. показал, что, с учетом инфляции, это финансирование значительно снижается (рис. 8). В то же время статистический анализ стоимости подготовки 1 тонны прогнозных ресурсов категории P_1 ($P_1 + 0,6 \cdot P_2$) показал практически ее

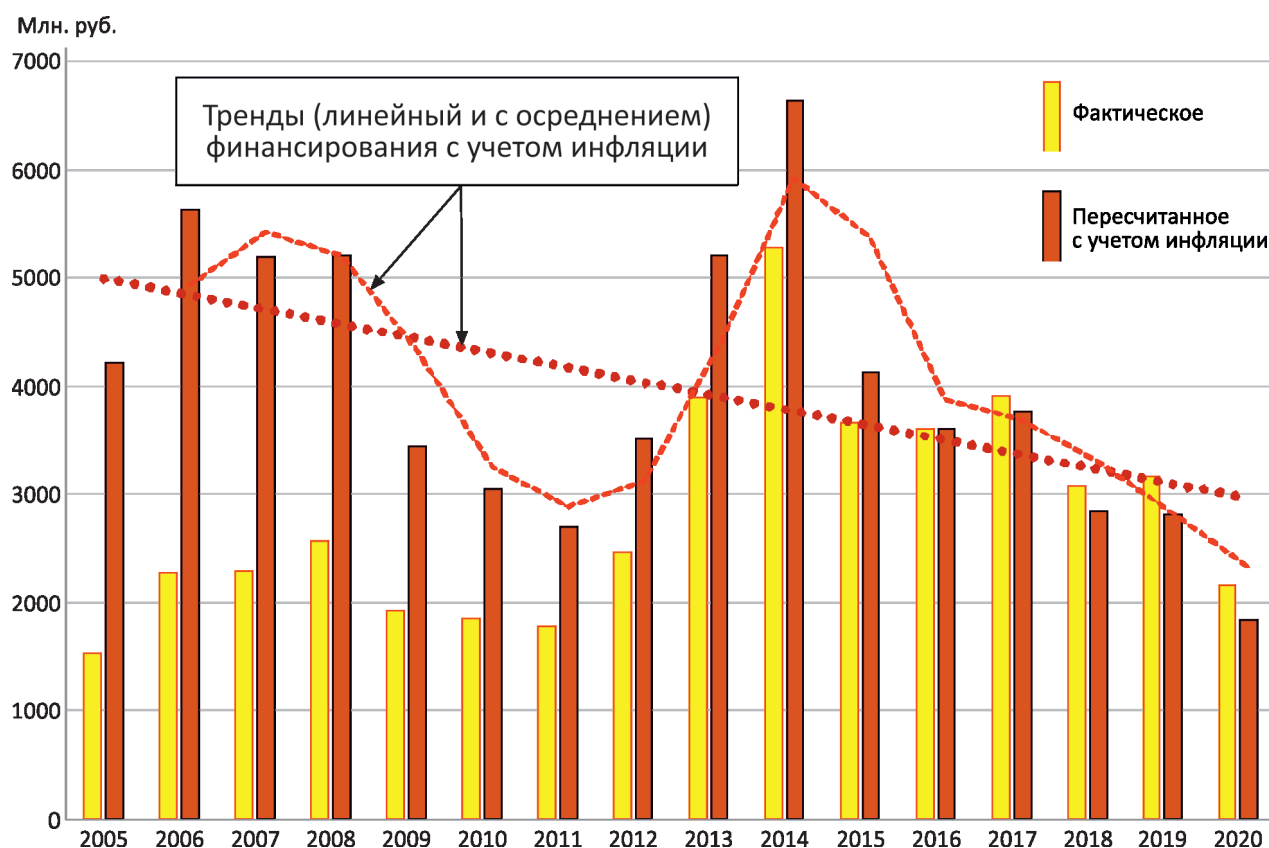


Рис. 8. Финансирование геологоразведочных работ за счет средств федерального бюджета на золото в 2005–2020 гг.

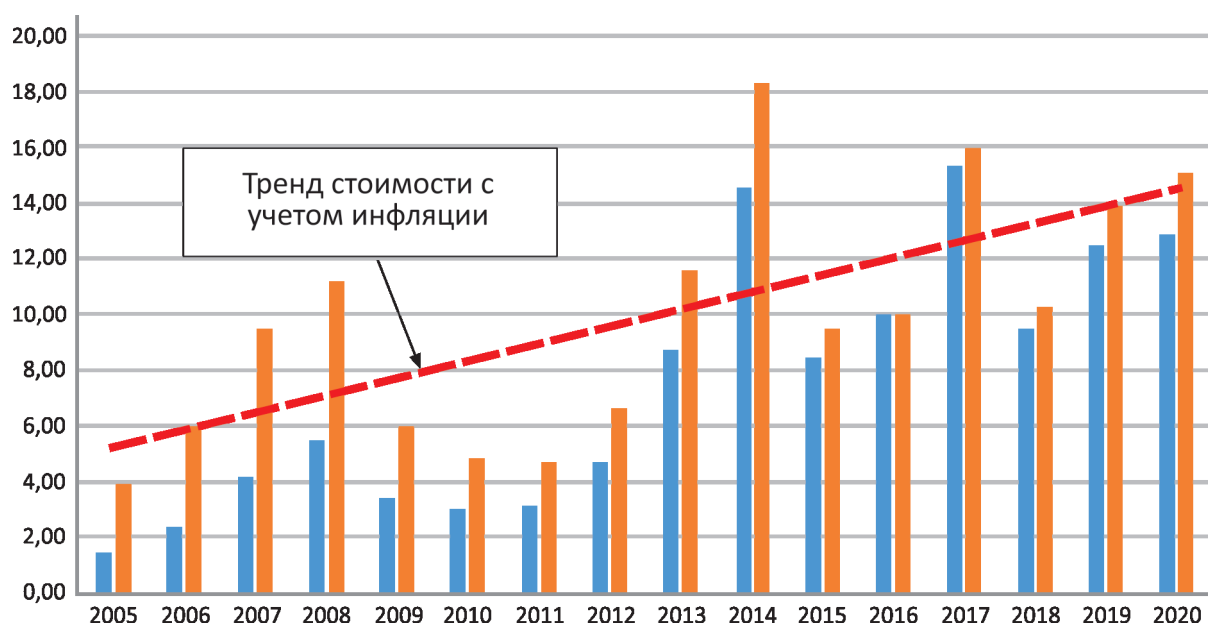


Рис. 9. Стоимость подготовки прогнозных ресурсов $P_1 + 0,6 \cdot P_2$ (млн. руб./т): фактическая (синий цвет) и с учетом инфляции (красный цвет)

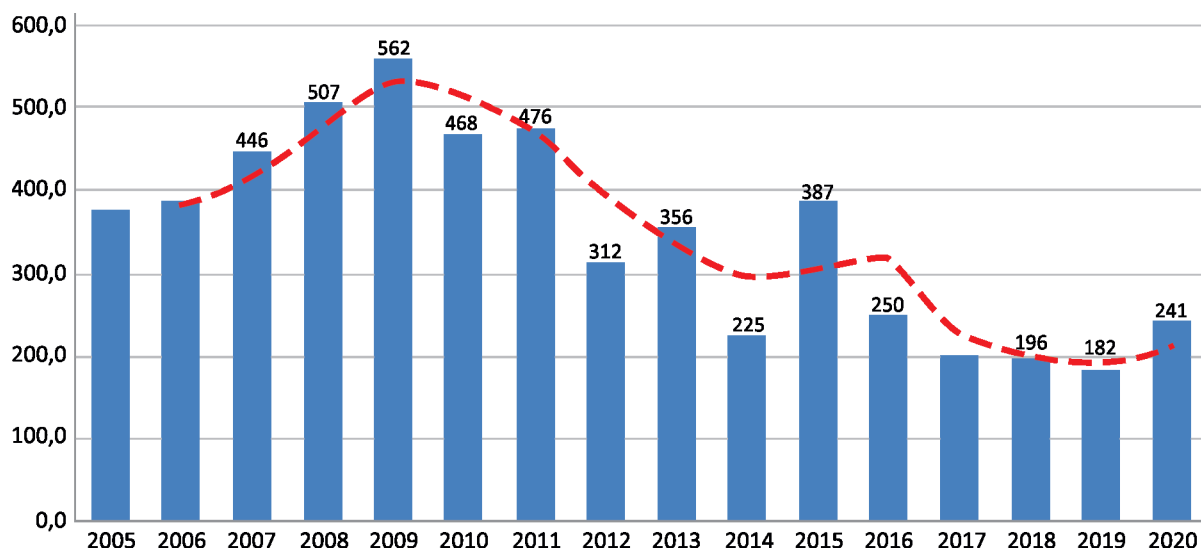


Рис. 10. Количество подготовленных в результате ГРП по федеральному бюджету условных запасов $C_{2_{\text{усл.}}} = (P_1 + 0,6 \cdot P_2) \cdot 0,7$ (в 2018–2020 гг. – ожидаемые)

двукратный рост (рис. 9). Статистический анализ по количеству ежегодно подготовленных за этот период условных запасов категории $C_2 ((P_1 + 0,6 \cdot P_2) \cdot 0,7)$ свидетельствует об отчетливом снижении их количества, начиная с 2010 г. (рис. 10). Эта тенденция, рассчитанная исходя из планируемого финансирования установленных коэффициентов реализации плановых заданий и стоимости подготовки условных запасов категории C_2 , демонстрируется на рис. 10.

В заключение следует отметить, что, несмотря на прогнозируемое в ближайшие годы дальнейшее увеличение производства золота в России из минеральных месторождений за счет начала или усиления эксплуатационных работ на ряде месторождений (Наталкинское, Быстринское, Угахан, Дrajное, Неждановское, Олимпиадинское и др.) ориентировочно до 300 т, с 2023–2025 гг. вероятно начало его снижения. Это снижение в какой-то степени может быть «смягчено» добычей на месторождении Сухой Лог (по ТЭО кондиций производство золота 50 т/год). Для изменения возможной отрицательной тенденции в производстве золота в России необходимо значительное увеличение работ ранних стадий с целью выявления новых золоторудных объектов, расширенной подготовки прогнозных ресурсов, а затем и балансовых запасов. В связи с введением заявочного принципа лицензирования площадей для проведения поисков и оценки месторождений и, соответственно, увеличением финансирования работ ранних стадий недропользователями, минерально-сырьевая база золота будет пополняться новыми рудными и россыпными объектами. Однако, учитывая

статистическую вероятность выявления месторождений (в основном мелких – см. табл. 5) на площадях с прогнозными ресурсами категории P_3 в 16%, представляется, что в полной мере проблемы подготовки достаточного количества объектов для поддержания производства золота на достигнутом уровне (около 300 т/год) это не решит. По мнению авторов, для решения этой проблемы затраты федерального бюджета на работы ранних стадий (прогнозно-минерогенетические и поисковые) должны резко (кратно существующему уровню) возрасти, причем одной из задач должно быть восполнение банка перспективных участков («поискового задела») для последующих работ недропользователей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вестник золотопромышленника. 2017. № 3. С. 3–4.
2. Вестник золотопромышленника. 2017. № 35. С. 2–3.
3. Вестник золотопромышленника. 2017. № 41. С. 2–4.
4. Минерально-сырьевая база золота России: состояние и перспективы развития / Б.К.Михайлов, А.И.Иванов, С.С.Вартанян, Б.И.Беневольский // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 2014. № 6. С. 9–13.
5. Перспективы развития минерально-сырьевой базы алмазов и золота Российской Федерации / А.И.Иванов, С.С.Вартанян, А.И.Черных и др. // Минеральные ресурсы. Экономика и управление. 2016. № 3. С. 15–23.
6. Проблемы минерально-сырьевой базы золота России // Б.К.Михайлов, А.И.Иванов, С.С.Вартанян, Б.И.Беневольский / Руды и металлы. 2015. № 1. С. 93–99.

Ситуация на мировом вольфрамовом рынке и возможности российской сырьевой базы вольфрама

А.М.ЛАПТЕВА (Федеральное государственное бюджетное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт минерального сырья им. Н.М.Федоровского» (ФГБУ «ВИМС»); 119017, г. Москва, Старомонетный пер., д. 31)

В статье рассмотрено текущее состояние мирового рынка вольфрама, дан прогноз добычи вольфрама в мире, охарактеризована ситуация с потреблением и производством вольфрамового сырья в России, проанализирована сырьевая обеспеченность российских вольфрамодобывающих предприятий. В этом контексте оценены перспективы освоения отечественных месторождений вольфрама. Показано, что, несмотря на размеры российской сырьевой базы вольфрама, в ее составе практически отсутствуют объекты, представляющие интерес для недропользователей. В связи с этим актуальна постановка поисковых работ, направленных на выявление месторождений ликвидных вольфрамовых руд. При этом их ликвидность во многом определяется экономико-географическим положением объектов, прежде всего, состоянием транспортной инфраструктуры и удаленностью от потенциальных потребителей. Решение проблемы сырьевого дефицита также возможно посредством повышения эффективности использования имеющейся сырьевой базы через внедрение более совершенных технологий переработки руд.

Ключевые слова: вольфрам, конъюнктура рынка вольфрама, сырьевая база, освоение месторождений, обеспеченность добычи, геологоразведочные работы, новые технологии.

Лаптева Анна Михайловна



lapteva@vims-geo.ru

The State of World Tungsten Market and the Potential of Russian Tungsten Ore Base

А.М.ЛАПТЕВА (Federal state unitary enterprise «All-russian scientific-research institute of mineral resources named after N.M.Fedorovsky»)

The article focuses on the current state of world tungsten market, gives a forecast of tungsten mining in the world, characterizes the conditions of consumption and production of raw tungsten in Russia, and analyzes the availability of reserves for Russian tungsten-mining enterprises. In this context, the development perspectives of tungsten deposits in the country are discussed. It is shown, that, notwithstanding the size of the Russian tungsten reserve base, it contains no objects of interest for subsurface users. Therefore, the development of reconnaissance works aimed to reveal marketable tungsten ore deposits is of importance. The marketability of such ore is largely determined by the economic and geographic features of the objects, first of all, the state of transport infrastructure and the remoteness from potential consumers. The problem of raw material deficiency can also be solved by improving the development efficiency of the available raw material reserves through introducing advanced ore-processing technologies.

Key words: tungsten, tungsten market situation, raw material base, deposit development, reserves-to-production ratio, exploration, advanced technologies.

Потребление вольфрама в мире. Вольфрамовая продукция широко применяется в автомобилестроении, сталеплавильной, инструментальной, горной, нефтегазовой, аэрокосмической, химической промышленности, строительстве, производстве осветительной техники и других отраслях экономики, где вольфрам используется в виде твердых сплавов, легированных сталей и суперсплавов, вольфрамового проката и химических соединений [13]. При этом объемы потребления

вольфрама и его структура в разных странах мира значительно варьируют в зависимости от уровня развития отраслей, потребляющих металл (табл. 1).

Спрос на вольфрам обеспечивается природным сырьем и вторичным металлом, получаемым, прежде всего, в результате переработки твердосплавной продукции. После 2000 г. благодаря стремительному росту экономики Китая и произведенному им синергетическому эффекту наблюдался устойчивый рост потребления

1. Структура конечного потребления вольфрама основными экономиками мира. По данным International Tungsten Industry Association и Argus Media Ltd.

Страны	Твердые сплавы	Сталь и суперсплавы	Прокат	Химические соединения и прочая продукция	Доля в совокупном мировом потреблении в 2015 г., %	Душевое потребление (в пересчете на WO ₃), кг/1000 чел.
Сферы потребления вольфрама, %					Географическая структура потребления вольфрама	
Мир	55	21	17	7		15,3
ЕС	65	12	10	13	14	30,8
США	66	9	20	5	9	31,4
Япония	67	11	11	11	7	61,8
Китай	48	25	20	7	64	52,3
Россия	70	26	4	–	<1	10,5*

Примечание. * – оценка автора.

металла обоих видов. При этом потребление первичного вольфрама за указанный период удвоилось, достигнув примерно 104 тыс. т в пересчете на WO₃ (рис. 1) [13]. Доля вторичного вольфрама в структуре потребления устойчиво растет: если около 10 лет назад он обеспечивал около 25% спроса [14], то в 2014 г. его доля приблизилась к 35%, причем для ближайших пяти лет прогнозируется ее рост до 56% [1].

Горное производство вольфрама в мире и состояние мировой сырьевой базы вольфрама. Производство вольфрамовых концентратов в мире в период после 2000 г. в целом устойчиво росло (см. рис.1). В 2015 г. в значимых количествах оно осуществлялось в 21 стране мира и в пересчете на WO₃ составило примерно

112 тыс. т. Исходя из этого показателя с учетом потерь разного рода, добыча металла из недр находилась на уровне не менее 140–150 тыс. т WO₃. Крупнейший производитель вольфрамового сырья – Китай, ставший безальтернативным лидером отрасли в конце 1970-х гг.; в 2015 г. его доля в мировом производстве вольфрамовых концентратов превысила 82%. Значимыми производителями в указанный год также являлись Вьетнам, Россия и Канада, совокупная доля которых в мировом показателе превысила 11,5% (табл. 2). По экономическим причинам в конце 2015 г. добыча вольфрама в Канаде прекратилась.

Ресурсы вольфрама (в пересчете на WO₃), выявленные в 27 странах мира, могут быть оценены примерно

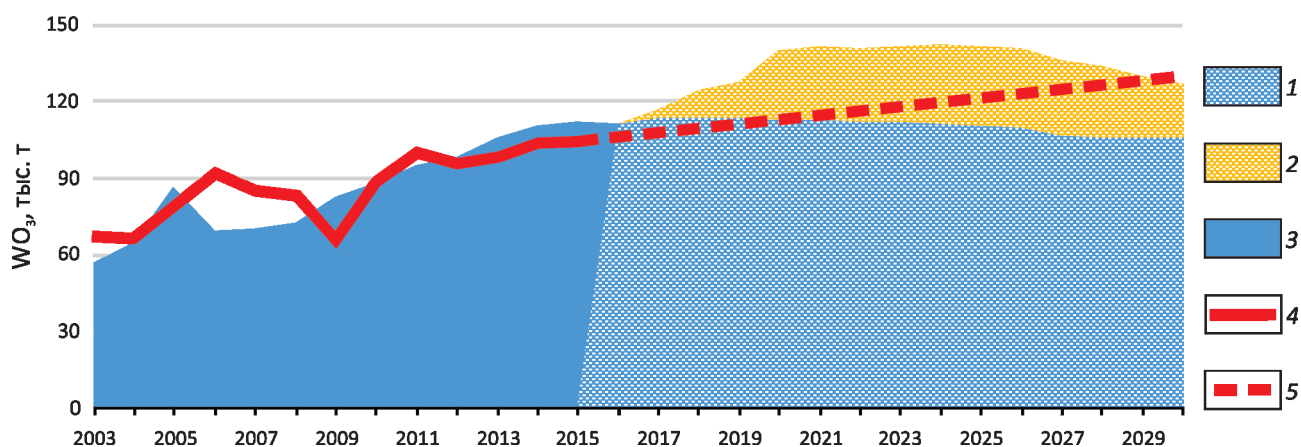


Рис. 1. Динамика потребления первичного вольфрама (в пересчете на WO₃) и производства WO₃ в концентратах в 2003–2015 гг. и прогноз до 2030 г. (в тыс. т). С использованием данных Argus Media и International Tungsten Industry Association:

прогноз производства: 1 – на эксплуатируемых и 2 – на осваиваемых объектах; 3 – производство; 4 – потребление; 5 – прогноз потребления

2. Распределение ресурсов и запасов WO_3 и производства WO_3 в концентратах между странами – основными продуцентами вольфрамового сырья по состоянию на 2015 г., тыс. т

Страны	Ресурсы	Запасы	Производство
Китай	7205,0	2331,0	92,0
Вьетнам	284,7	181,8	6,4
Россия	1988,0	305,5	3,3
Канада	1256	362,2	2,7
Австралия	813,1	283,7	0,4
Казахстан	2005,0		0,0
Прочие	2787,9	369,2	7,2

Примечание. Для России под ресурсами подразумеваются запасы категорий $A+B+C_1+C_2$ +забалансовые запасы; под запасами – запасы категорий $A+B+C_1+C_2$ разрабатываемых и подготавливаемых к освоению месторождений существенно вольфрамовых руд.

в 16,3 млн. т. На долю промышленных запасов, которыми располагают всего 13 стран, приходится около 3,8 млн. т. Распределение ресурсов и запасов характеризуется высокой концентрацией: в недрах пяти стран (Китай, Казахстан, Россия, Канада и Австралия) заключено более 80% ресурсов, в недрах четырех стран (Китай, Россия, Канада и Австралия) – около 90% запасов (см. табл. 2).

При текущем состоянии мировой сырьевой базы вольфрамодобывающей промышленности дефицит сырья глобальной экономике не угрожает – при условии сохранения добычи на уровне 2015 г. ее обеспеченность запасами в целом по миру составит около 25 лет. Идентифицированные в мире ресурсы вольфрама в целом могут увеличить этот срок еще примерно на 85 лет. В то же время запасы эксплуатируемых месторождений могут иссякнуть менее чем через 20 лет; ресурсы, заключенные в этих объектах, могут продлить этот срок на 30–35 лет.

Тем не менее, существует ряд угроз, которые могут существенно повлиять на состояние добычи вольфрама. В их числе – уровень цен на него и вытеснение природного сырья вторичным.

Состояние мирового рынка вольфрама и перспективы развития его мировой сырьевой базы. Безоговорочное доминирование китайской вольфрамодобывающей промышленности, основанное на наличии мощнейшей и достаточно качественной сырьевой базы, дешевизне производства и государственном стимулировании, привело к падению цен на вольфрамовое сырье, охватившему конец 1970-х–первую половину 1980-х гг. (рис. 2), а вслед за этим – к сворачиванию производства (вплоть до его полного прекращения) во всех регионах мира, кроме Китая [3]. В результате до первой половины 2000-х гг. активность в сфере освоения сырьевой базы вольфрама за пределами Китая находилась на крайне низком уровне, а потребители вольфрамового сырья оказались практически в полной зависимости от состояния горной отрасли и политики

властей КНР в отношении добычи и экспорта данного металла, включенного в перечень стратегических.

С середины 2000-х гг. ситуация на рынке вольфрама оказалась под давлением двух основных факторов – реформирования китайского вольфрамового сектора (что в итоге способствовало изменению структуры экспорта металла из этой страны и жесткому контролю за ним) и активизации спроса на вольфрам как внутри Китая, так и в мире [3]. Это обусловило быстрый рост цен на вольфрам, что привело, во-первых, к расширению добычи вольфрама в Китае, и, во-вторых, к активизации работ по оценке, разведке и подготовке к промышленному освоению новых вольфрамовых объектов и реанимации существовавших ранее производств в целом ряде стран. В результате за последние 15 лет за пределами Китая сформировалось несколько центров по созданию вольфрамодобывающих производств. Это, прежде всего, Австралия, а также Канада, Вьетнам, Великобритания, Испания и Южная Корея.

Своего пика активность недропользователей по развитию сырьевой базы вольфрама достигла в 2011–2012 гг., что определялось максимальными ценами на металл. В последующие годы на фоне падения цен, вызванного переизбытком вольфрамового сырья (см. рис. 1), она несколько снизилась. Были приостановлены или закрыты проекты освоения новых месторождений, экономические перспективы которых при сложившемся уровне цен компании-недропользователи оценили как неблагоприятные. Тем не менее, совокупная мощность оставшихся проектов может обеспечить прирост производства концентратов вольфрама (в пересчете на WO_3) почти на 31 тыс. т. В результате, при условии ввода всех этих проектов в эксплуатацию в ожидаемые сроки, производство вольфрама после 2020 г. может вырасти по сравнению с уровнем 2015 г. примерно на четверть. При этом подготавливаемые к эксплуатации месторождения неоднородны по количеству и качеству заключенной в них руды, а создаваемые на их базе предприятия – по масштабам производства и способам отработки (табл. 3).

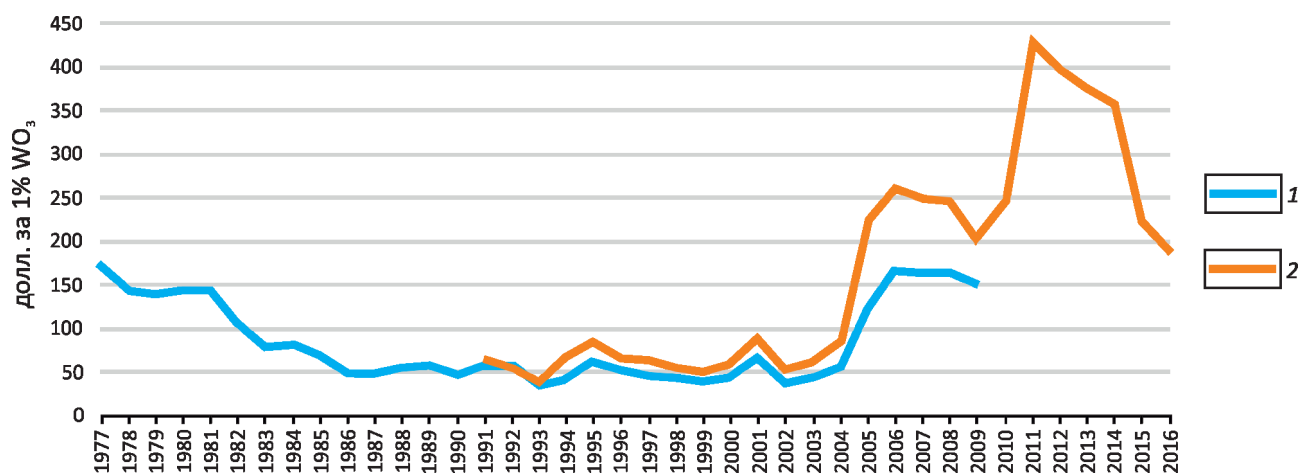


Рис. 2. Динамика среднегодовых цен на продукты вольфрама на западноевропейском свободном рынке, долл. за 1% WO_3 . По данным Геологической службы США, Metal Bulletin и metal-pages.com:

1 – вольфрамитовый концентрат с минимальным содержанием WO_3 65%; 2 – паравольфрамат аммония с минимальным содержанием WO_3 88,5%

3. Основные параметры существенно вольфрамовых месторождений мира, подготавливаемых к эксплуатации, и горных предприятий, создаваемых на их базе

Месторождение	Геолого-промышленный тип	Базовое количество руды*, млн. т/ WO_3 в руде, тыс. т	Содержание WO_3 в базовой руде, %	Способ отработки	Мощности по	
					добыче руды, млн. т	производству WO_3 в продукте, тыс. т
Сиссон (Sisson), Канада	Порфировый	334,4/ 220,7	0,066	Открытый	11,05	К – 5,9 ПВА – 5,5
Сандон (Sandong), Южная Корея	Скарновый	8,0/35,5	0,45	Подземный	0,45–0,64	К – 1,2–2,5
Маунт-Плезант (Mt Pleasant), Канада	Порфировый	13,5/44,5	0,33	Подземный	0,84	ПВА – 1,6
Ла-Паррилья (La Parrilla), Испания	Жильный	46,9/42,2	0,09	Открытый	3,5	К – 3,4
Уотершед (Watershed), Австралия	Жильный	21,3/31,4	0,15	Открытый	2,5	К – 2,7
Биг-Хилл (Big Hill), Австралия	Жильный	25,2/28,1	0,11	Открытый	2,4	К – 2
Барруэкопардо (Barregosopardo), Испания	Жильный	8,7/26,1	0,3	Открытый	1,1	К – 2,3
Маунт-Карбин (Mt Carbine), Австралия	Жильный	18,0/25,2	0,14	Открытый	1,5–3	К – 1,6–3,2
Долфин (Dolphin), Австралия	Скарновый	3,1/22,9	0,73	Открытый	0,45	К – 3,5
Молихил (Molyhil), Австралия	Скарновый	3,0/9,2	0,31	Открытый	0,5	К – 1,3
Вальтрейксаль (Valtreixal), Испания	Жильный	2,5/6,4	0,25	Открытый	0,5	К – 0,7

Примечание. * – количество руды, предполагаемое для отработки; К – концентрат; ПВА – паравольфрамат аммония.

Однако такие объемы первичного вольфрамового сырья вольфрамопотребляющие отрасли (исходя из возможного роста потребления первичного вольфрама в 1,5% в год) поглотить не смогут вплоть до 2029 г. (см. рис. 1). В результате складываются предпосылки для сохранения перенасыщенности рынка вольфрама и низкого уровня цен на этот металл. Сложившаяся ситуация спровоцировала «выдавливанию» из отрасли низко-рентабельных предприятий, прежде всего китайских. В таких условиях перспективы успешной реализации есть лишь у высокорентабельных проектов, у которых совокупные расходы в расчете на единицу товарной продукции ниже актуальных цен на нее. Практика подтверждает именно такой сценарий развития событий: в августе 2015 г., когда цены на вольфрам демонстрировали устойчивое снижение и приближались к своему минимуму, в Великобритании был введен в эксплуатацию проект Хемердон (Hemerdon), а в сентябре 2016 г. в Испании – проект Ла-Паррилья (La Parrilla). Проектная себестоимость триоксида вольфрама в концентрате по этим проектам составляет 121–122 долл. за 1% содержания WO_3 , а удельные совокупные затраты (в расчете на 1% содержания WO_3) – около 155 и 133 долл. соответственно [15, 16], тогда как средняя отпускная цена концентратов с китайских рудников в 2015 г. составляла около 180 долл. [13]. При этом цена на триоксид вольфрама в концентрате в августе 2015 г. находилась на уровне 155–175 долл. за 1% содержания WO_3 , а в сентябре 2016 г. – 140–160 долл. Выход на рынок аналогичных с экономической точки зрения проектов, таких как Барруэкопардо (Barruocapardo) в Испании и Сандон (Sandong) в Южной Корее, удельные совокупные затраты по которым составляют 150–152 долл. за 1% содержания WO_3 , еще больше обострит конкурентную борьбу в отрасли и в конечном итоге приведет к

повышению эффективности производства. При этом очевидно, что вероятность своевременного ввода в эксплуатацию проектов, запуск которых ожидается после 2020 г., невысока, если только их экономические параметры не обеспечат им принципиального превосходства над действующими на тот момент предприятиями.

Ситуация в России. Видимое удельное потребление вольфрама в России можно оценить примерно в 10,5 кг WO_3 на 1000 чел. В основе этой оценки лежат данные о видимом потреблении (оценивается по формуле «производство + импорт – экспорт») вольфрамовых концентратов и импорте–экспорте продуктов их переработки (оксидов и гидроксидов вольфрама, вольфраматов, ферровольфрама, карбидов вольфрама, обработанного и необработанного металлического вольфрама). При этом вторичное вольфрамовое сырье и скрытые импорт и экспорт вольфрама, осуществляемые в готовых изделиях, не учитываются. Удельное потребление вольфрама в России ниже среднемирового показателя, который превышает 15 кг (см. табл. 1). По данным *International Tungsten Industry Association*, основными направлениями потребления вольфрама в России являются производства твердых сплавов, сталей и суперсплавов. При этом практически не используются химические соединения вольфрама и мало востребован вольфрамовый прокат, что отличает Россию от прочих экономически развитых стран мира. Всего в России ежегодно потребляется около 1,4 тыс. т металла в пересчете на WO_3 .

Видимое потребление вольфрамовых концентратов с 2013 г. растет и в 2015 г. составило 4,5 тыс. т против 1,2 тыс. т в 2012 г. (рис. 3). Исходя из содержания WO_3 в производимом, экспортируемом и импортируемом продукте на уровне 60%, оно соответствует примерно 2,7 тыс. т WO_3 .

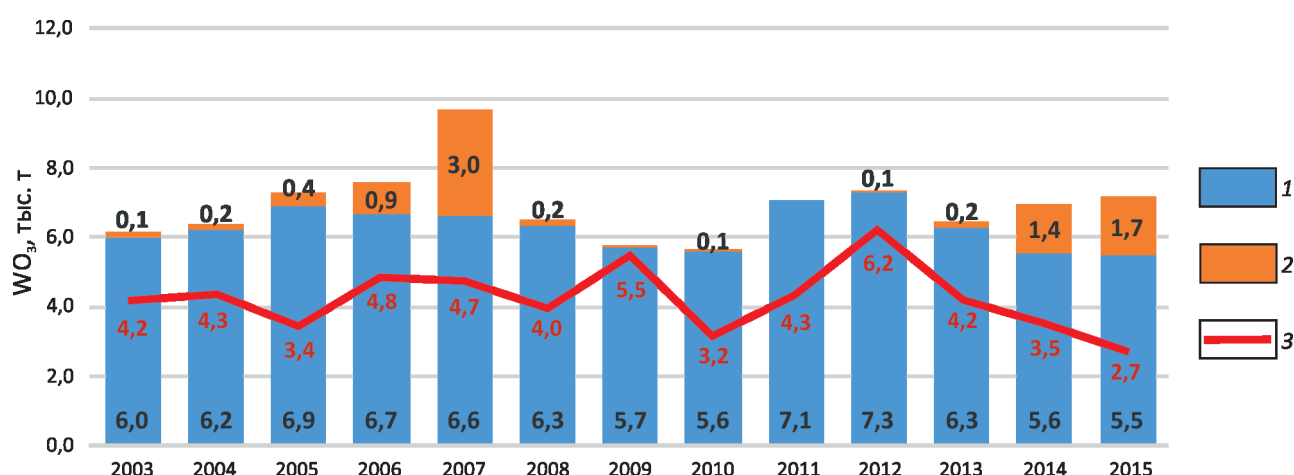


Рис. 3. Динамика производства, экспорта и импорта вольфрамовых концентратов в России (в тыс. т). По работам [9, 10]:

1 – производство; 2 – импорт; 3 – экспорт

Таким образом, в России наблюдается значительный разрыв между потреблением вольфрамового сырья и вольфрамовой продукции, что свидетельствует об экспортной ориентированности отечественной вольфрамовой промышленности.

Основными потребителями вольфрамовых концентратов являются завод компании ОАО «Гидрометаллург» в г. Нальчик (Кабардино-Балкарская Республика) и предприятие ОАО «Кировградский завод твердых сплавов» в Свердловской области. Только производственные мощности завода ОАО «Гидрометаллург» позволяют перерабатывать 6 тыс. т WO_3 в концентрате и других видах сырья. Потребности ОАО «Кировградский завод твердых сплавов» в сырье превышают 600 т WO_3 . Таким образом, для полного обеспечения отечественной промышленности собственным сырьем (без учета возможного экспорта) необходимо производство 6,6 тыс. т WO_3 в концентратах, что с учетом потерь требует добычи WO_3 на уровне около 8 тыс. т в год.

После 2000 г. динамика добычи WO_3 из недр в России носила волнообразный характер, варьируя от 3,8 до 5,5 тыс. т, при этом часть добытого металла терялась. В настоящее время извлечение WO_3 в концентраты на обогатительных фабриках вольфрамовых ГОКов варьирует от 55 до 86,4%, а попутный вольфрам, заключенный в оловянных рудах, вообще не извлекается, в результате чего наблюдается значительный разрыв между объемами добычи металла и его количеством, заключенным в концентратах (рис. 4). При этом «волны» в отечественном производстве вольфрамового сырья хорошо коррелируются с динамикой мировых цен на вольфрам (см. рис. 2).

Формальная обеспеченность отечественной горной промышленности балансовыми запасами вольфрама в целом высокая – для достигнутого в 2015 г. уровня

добычи она превышает 300 лет, в том числе запасами категорий А+В+С₁ – более 220 лет (табл. 4).

На протяжении постсоветского периода наблюдалось устойчивое сокращение запасов категорий А+В+С₁, обусловленное добычей и списанием запасов вследствие их переоценки. После 2005 г. существенный прирост был получен лишь единожды в результате постановки на учет запасов месторождения Скрытое в Приморском крае (2012 г.), запасы категорий А+В+С₁ которого составили 62,3 тыс. т WO_3 . Переоценка вольфрам-оловянных штоковерков Пыркайского рудного узла в Чукотском АО (2011 г.), существенно вольфрамового Спокойнинского месторождения в Забайкальском крае (2014 г.) и молибден-вольфрамового Тырнаузского месторождения в Кабардино-Балкарской Республике (2015 г.) совместно обусловили сокращение запасов категории А+В+С₁ на 316,5 тыс. т WO_3 .

Распределение запасов вольфрама и его добычи между субъектами Российской Федерации характеризуется неравномерностью. Центрами добычи являются Приморский и Забайкальский края, тогда как основные запасы сконцентрированы в Республике Бурятия – главным образом в штоковерковых месторождениях Инкурское (существенно вольфрамовое) и Мало-Ойногорское (вольфрам-молибденовое) и в Кабардино-Балкарской Республике – преимущественно в скарновом Тырнаузском месторождении (табл. 5).

В Приморском крае объектами отработки являются скарновые месторождения богатых (с содержаниями $WO_3 > 1\%$) шеелитовых руд Восток-2 (эксплуатируется АО «Приморский ГОК») и Лермонтовское (ООО «Лермонтовский ГОК»). Совместно эти два объекта в 2015 г. обеспечили около 62% добычи WO_3 из недр (2558 т) и 66% производства WO_3 в концентрате (2203 т) [10]. Длительная отработка месторождений Приморского

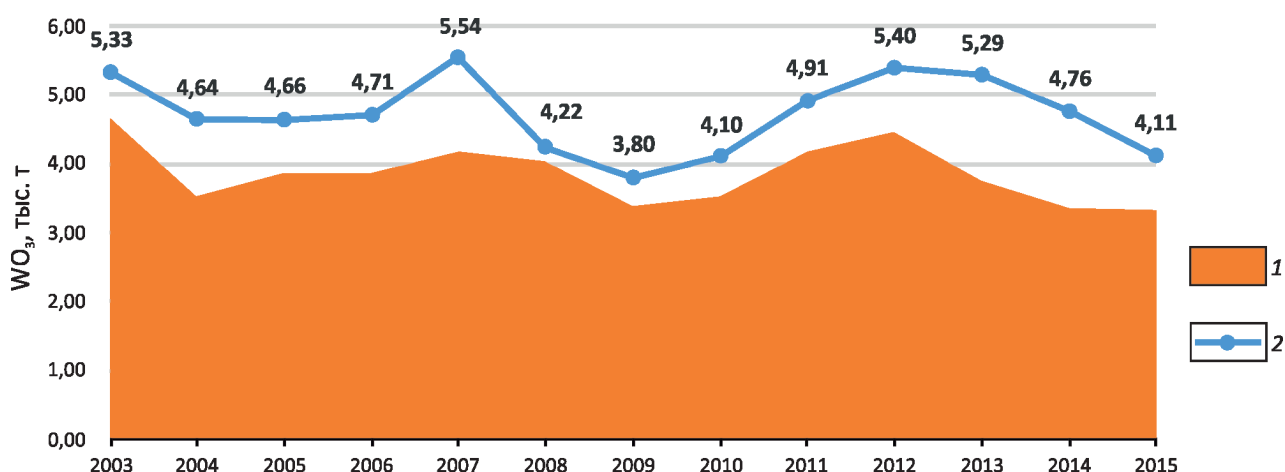


Рис. 4. Динамика добычи WO_3 и производства WO_3 в концентрате в России в 2003–2015 гг. (в тыс. т). По работам [9, 10]:

1 – производство WO_3 в концентрате; 2 – добыча WO_3 из недр

4. Состояние сырьевой базы вольфрама Российской Федерации на 01.01.2016. По работе [10]

Прогнозные ресурсы	P_1	P_2	P_3
Количество, тыс. т WO_3	210,4	673,7	1338,2
Запасы	$A+B+C_1$		C_2
Количество, тыс. т WO_3	950,8		384,5
Доля распределенного фонда, %	41,8		86,5
Добыча из недр (с учетом потерь), т WO_3			4 235
Изменение запасов $A+B+C_1$ в 2015 г., тыс. т WO_3			-296,8
Обеспеченность добычи запасами $A+B+C_1+C_2$, лет			315
Обеспеченность добычи запасами $A+B+C_1+C_2$ распределенного фонда недр, лет			172
Обеспеченность добычи запасами $A+B+C_1+C_2$ разрабатываемых месторождений, лет			22

Примечание. Расчет обеспеченности добычи запасами выполнен исходя из уровня добычи (с учетом потерь) WO_3 в 2015 г.

5. Распределение запасов и добычи вольфрама (в пересчете на WO_3) между субъектами Российской Федерации. По работе [10]

Субъекты Российской Федерации	Запасы категорий, тыс. т		Добыча (без учета потерь), т
	$A+B+C_1$	C_2	
Приморский край	131,5	111,5	2558
Забайкальский край	29,5	17,3	1372
Республика Бурятия	301,4	41,8	100
Кабардино-Балкарская Республика	212,4	8	—
Республика Саха (Якутия)	121,8	10,3	—
Карачаево-Черкесская Республика	89	20,9	—
Курганская область	12	129,8	—
Прочие	53,3	45	84

края привела к существенному истощению их запасов. Балансовые запасы Лермонтовского месторождения оказались полностью исчерпаны уже в 2016 г. [2, 6, 7]. Согласно существующему проекту, компания-недропользователь рассчитывает продлить срок жизни Лермонтовского ГОКа до 2021–2022 гг. за счет вовлечения в отработку запасов, которые в настоящее время относятся к забалансовым по горнотехническим условиям.

Запасы месторождения Восток-2 при уровне добычи (с учетом потерь), достигнутом в 2015 г., достаточны для ведения добычи до 2025 г. (рис. 5), однако недропользователь ожидает завершение его отработки уже в 2020 г. (рис. 6).

В Забайкальском крае добыча вольфрама ведется на грейзеновом Спокойнинском (ЗАО «Новоорловский ГОК») и жильном Бом-Горхонском (ООО «Артель старателей «Кварц»») месторождениях, доля которых в добыче из недр составила около 36% (1233 т) и более 3% (139 т) соответственно, а в производстве WO_3 в концентрате – около 28% (930,1 т) и более 3% (108 т) соответственно [10].

Обеспеченность запасами рудников Забайкальского края не столь критична, и при некоторых условиях они могут продолжить работу и после 2040 г. (см. рисунки 5 и 6). Однако все запасы, на базе которых вольфрамодобывающие предприятия функционируют в настоящее время, согласно действующим проектам могут быть полностью исчерпаны уже в течение ближайших 20 лет.

Единственным отечественным вольфрамовым объектом, готовым к отработке, является расположенное в Приморском крае скарновое месторождение Скрытое, лицензия на право пользования недрами которого, принадлежащая АО «Приморский ГОК», приостановлена до 1 августа 2018 г. Даже если после возобновления действия лицензии недропользователь продолжит работы по вводу объекта в эксплуатацию согласно проекту, прошедшему государственную экспертизу в 2014 г., нельзя ожидать начала его промышленной отработки ранее 2022 гг. (проектная продолжительность горно-капитальных работ составляет 3 года). При этом есть мнение, что работы на месторождении Скрытое начнутся только в середине 2020-х гг. [8]. К этому моменту запасы и месторождения Лермонтовское, и

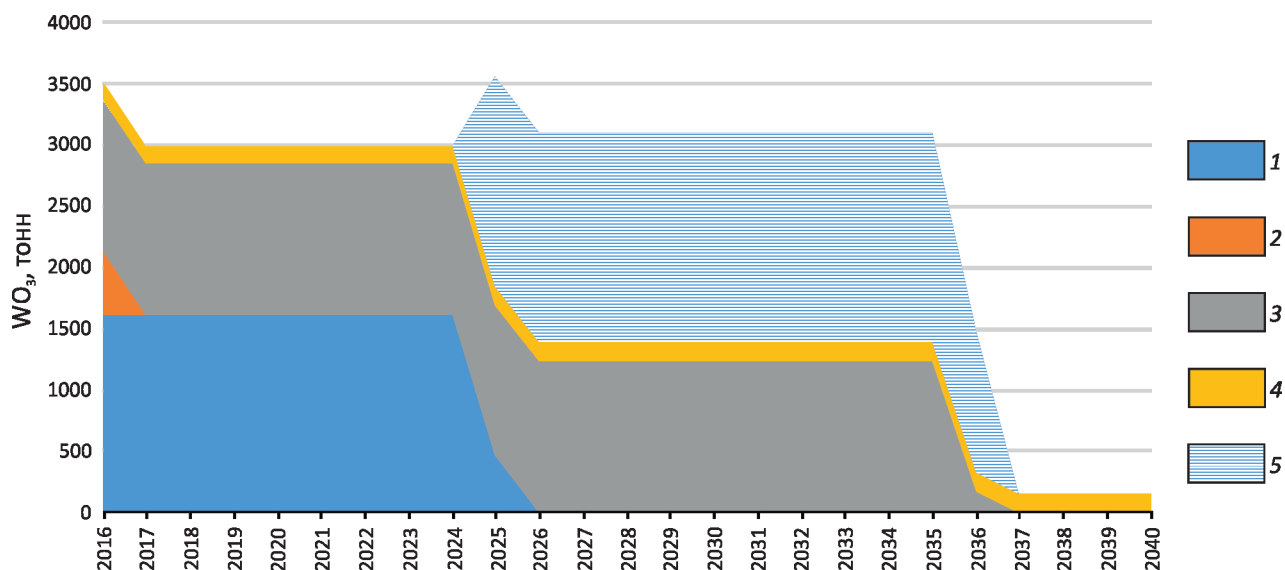


Рис. 5. Прогноз добычи WO_3 до 2040 г. на существенно вольфрамовых месторождениях России, исходя из ее уровня в 2015 г. на эксплуатируемых объектах и проектного уровня на месторождении Скрытое (в тоннах):

месторождения: 1 – Восток, 2 – Лермонтовское, 3 – Спокойнинское, 4 – Бом-Горхонское, 5 – Скрытое (карьер)

месторождения Восток-2 будут полностью исчерпаны даже при самом оптимистическом подходе к перспективам этих объектов. В соответствии с согласованным проектом, месторождение Скрытое предполагается обрабатывать в две очереди:

1) около 5,8 млн. т руды – карьером производительностью 500 тыс. т руды в год в течение примерно 12 лет; среднегодовая добыча WO_3 при этом составит

около 1700 т, что не компенсирует возможности выбывающих приморских объектов. В случае начала промышленной отработки в 2022 г. его запасы могут быть исчерпаны в 2033 г.;

2) 33,7 млн. т руды – подземным рудником, перспективы которого неопределенны.

При этом при расчете ТЭО постоянных кондиций для отработки месторождения Скрытое отмечено, что

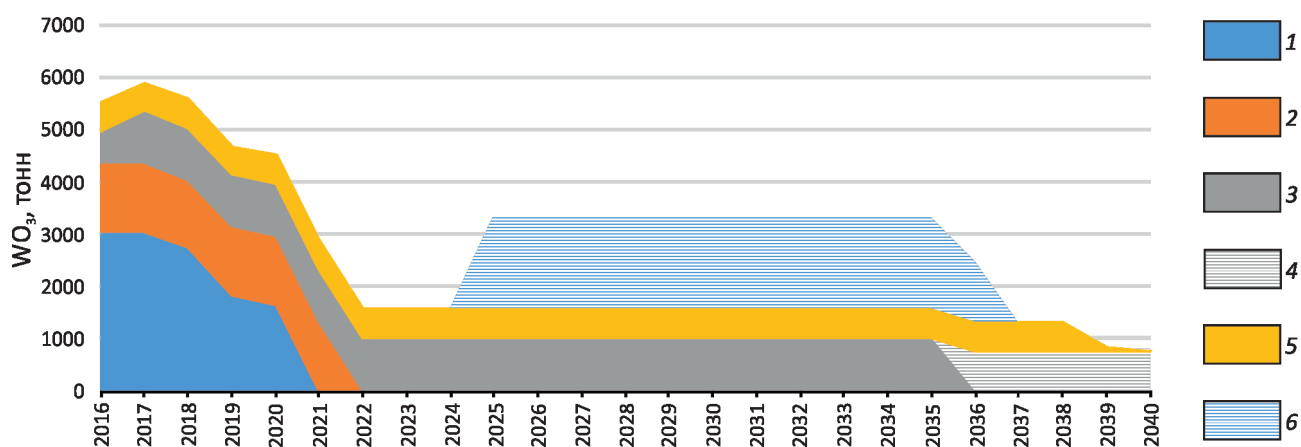


Рис. 6. Прогноз добычи WO_3 до 2040 г. на существенно вольфрамовых месторождениях России, исходя из показателей проектов их разработки (в тоннах):

месторождения: 1 – Восток, 2 – Лермонтовское, 3 – Спокойнинское, 4 – Спокойнинское (остаточные запасы), 5 – Бом-Горхонское, 6 – Скрытое (карьер)

при низких средних содержаниях WO_3 в исходной руде цена на конечную продукцию будет определяющим параметром для рентабельной работы предприятия. Ее минимальный уровень был определен в 375 долл. за 1% содержания WO_3 в паравольфрамате аммония. Средняя цена в 2016 г. была примерно в 2 раза ниже и, как отмечалось выше, предпосылки к ее принципиальному росту отсутствуют.

Таким образом, в случае успешного ввода в эксплуатацию месторождение Скрытое может в некоторой степени компенсировать истощение месторождений Лермонтовское и Восток-2. В то же время даже при функционировании рудников на базе месторождений Скрытое, Спокойнинское и Бом-Горхонское на полную мощность они смогут ежегодно добывать до 3,5 тыс. т WO_3 , что не только недостаточно для полного обеспечения сырьевых потребностей отечественных предприятий, но и уступает текущим показателям добычи металла.

В 2015 г. было лицензировано крупное (с запасами WO_3 около 110 тыс. т) штотверковое Кти-Тебердинское месторождение (Карачаево-Черкесская Республика) рядовых (с содержанием WO_3 0,3–1%) шеелитовых руд, запасы которого пригодны для подземной (штольневой) отработки. Горнотехнические условия разработки объекта сложные в связи с его расположением в высокогорной области с высотными отметками 1950–3200 м, девятибалльной сейсмичностью, нахождением в зоне действия активных экзогенных процессов (лавиноопасность, камнепады), а также рядом других осложняющих факторов. Согласно лицензионному соглашению, технический проект разработки месторождения должен быть подготовлен до конца 2018 г., а еще через четыре года должен состояться его ввод в эксплуатацию. Однако перспективы этого проекта представляются неочевидными. Среднее содержание WO_3 в шеелитовых рудах месторождения составляет 0,364%, то есть практически соответствует качеству руд месторождения Скрытое. И хотя эти два объекта находятся в разных экономико-географических условиях, и Кти-Тебердинское месторождение имеет принципиально лучшую позицию по отношению к потенциальным потребителям (особенно это касается завода в г.Нальчик), все прочие условия его подготовки к эксплуатации и самой эксплуатации определяют высокую стоимость проекта. В связи с этим, по мнению автора настоящей статьи, для ввода его в строй необходимо кардинальное улучшение конъюнктуры рынка вольфрама и значительное повышение цен на него. В 2022 г., когда новый рудник должен начать производство, это возможно, но не обязательно, особенно если учитывать перспективы появления новых продуцентов металла за рубежом (см. рис. 1).

Возможности сырьевой базы вольфрама России. Формальная обеспеченность российской вольфрамодобывающей промышленности балансовыми запасами

металла высокая – более 300 лет. Однако в действительности только часть отечественных запасов имеет хоть какие-то перспективы освоения. Во многом это связано с тем, что выход новых отечественных недропользователей на рынок вольфрама сопряжен с преодолением целого ряда ограничений экономического характера, среди которых особое значение имеет давление практически монопольного потребителя – ОАО «Гидрометаллург». В проведенном в 2015 г. Федеральной антимонопольной службой РФ исследовании состояния конкурентной среды на рынке вольфрамового концентрата в Российской Федерации отмечается, что «наличие на рынке вольфрамового концентрата покупателя-монополиста может стать причиной изначально убыточной деятельности и некупаемости вложений в разработку месторождений» [12]. Кроме того конкурировать на внешних рынках отечественное вольфрамовое сырье может только при условии низкой себестоимости. В связи с этим была предпринята попытка критически подойти к имеющимся в России запасам вольфрамового сырья и объективно оценить обеспеченность ими отечественной вольфрамовой промышленности.

Российские запасы вольфрама почти полностью заключены в коренных месторождениях. Практически все россыпи, суммарные запасы WO_3 которых составляют менее 11 тыс. т, либо очень мелкие (с запасами WO_3 десятки–первые сотни тонн), либо содержат очень бедные пески (с содержаниями WO_3 на уровне десятков–первой сотни г/м³), что сводит перспективы их освоения на вольфрам практически к нулю. Единственное исключение – уже разрабатываемая россыпь руч. Инкур в Республике Бурятия.

Запасы коренных объектов содержатся не только в существенно вольфрамовых рудах, где металл является основным компонентом, но и в вольфрамсодержащих (оловянных или молибденовых), где он является попутным и, как правило, характеризуется весьма низкими (на уровне сотых долей процента) содержаниями в руде. На долю последних приходится почти 31% суммарных запасов страны или около 413 тыс. т WO_3 . Поскольку вовлечение этих запасов в эксплуатацию определяется их привлекательностью по основному компоненту, а возможность получения вольфрамовой товарной продукции при таких содержаниях не очевидна, учитывать их в расчете сроков обеспеченности представляется некорректным. В результате исключения объектов с попутным вольфрамом из оценки обеспеченности вольфрамовой промышленности сырьем ее срок (исходя из уровня добычи 2015 г.) сокращается на 100 лет, то есть примерно до 215 лет. Если же ориентироваться на полное обеспечение отечественной промышленности собственным сырьем, что требует добычи WO_3 на уровне 8 тыс. т в год, обеспеченность балансовыми запасами вольфрама, заключенного в существенно вольфрамовых рудах, составит около 115 лет.

Как показывает мировая практика, привлекательными для освоения могут быть месторождения разного масштаба, содержащие руды любого качества, если их эксплуатация экономически эффективна. В то же время предпочтение отдается объектам, пригодным для открытой отработки, располагающимся в экономически освоенных регионах и характеризующимся транспортной доступностью. Объекты, расположенные на малоосвоенных территориях, должны обладать значительными масштабами оруденения с тем, чтобы обеспечить длительные сроки масштабной эксплуатации, оправдывающие затраты на развитие инфраструктуры, либо входить в состав кластеров, объединяющих серию осваиваемых или уже разрабатываемых месторождений разной специализации [4]. В России сочетание объективных и субъективных факторов, имеющих как сугубо внутреннюю природу, так и определяемых ситуацией на мировом рынке, обусловило более консервативный подход к качественным и количественным параметрам сырьевых объектов, проявляющийся в интересе к крупным объектам с высокими содержаниями полезных компонентов.

Большая часть отечественного вольфрама, содержащегося в существенно вольфрамовых рудах, заключена в запасах, подсчитанных для условий подземной отработки – на их долю приходится около 48% балансовых запасов или примерно 640 тыс. т WO_3 . Из той части запасов, которая в настоящее время не вовлечена в освоение, потенциально привлекательными для освоения (с учетом экономико-географических факторов) могут быть лишь содержащиеся в богатых рудах (с содержаниями $WO_3 > 1\%$). В них заключено WO_3 около 116 тыс. т, в том числе почти 91 тыс. т сконцентрирована в Агылкинском скарновом месторождении в Республике Саха (Якутия). Среднее содержание WO_3 в его рудах составляет 1,271%. В 2014 г. месторождение выставлялось на аукцион, но заявок на него не поступило, хотя цены на вольфрам в этот период еще находились на высоком уровне (см. рис. 2). Можно предположить целый комплекс причин, почему объект остался невостребованным – от неразвитости инфраструктуры в районе месторождения до удаленности от потребителей и слишком высокого стартового платежа.

Остальные запасы распределены между тремя объектами, в каждом из которых заключено 7–11 тыс. т WO_3 . Все они также находятся в слабо освоенных или удаленных районах Республики Алтай (Калгутинское месторождение, имеющее перспективы прироста запасов – на объекте локализованы прогнозные ресурсы категории P_2 в количестве 40 тыс. т WO_3) и Чукотского АО (Иультинское, разрабатывавшееся до 1994 г., и Тенкергинское месторождения).

На долю запасов, подсчитанных для условий открытой отработки, приходится около 20% балансовых запасов или примерно 274 тыс. т WO_3 . Из той их части, которая не вовлечена в отработку, автор данной

статьи сочла потенциально привлекательными для освоения запасы, заключенные в рудах с содержаниями $WO_3 > 0,5\%$ (заметим, что среднее содержание WO_3 в рудах месторождения Скрытое составляет 0,34%). На их долю приходится всего около 8 тыс. т WO_3 , которые в полном объеме сосредоточены в рудах месторождения Кордонное в Приморском крае. На этом объекте локализованы прогнозные ресурсы категорий P_1 в количестве около 17 тыс. т WO_3 и P_2 в количестве более 20 тыс. т WO_3 , что позволяет ожидать заметный прирост его запасов.

Обобщая все вышесказанное, вынуждены констатировать, что в текущих условиях инвестиционно-привлекательные, но не востребованные запасы вольфрама в стране практически отсутствуют. Запасы разрабатываемых существенно вольфрамовых объектов в целом могут обеспечить добычу на уровне 2015 г. в течение 14 лет. Месторождения, имеющие статус подготавливаемых к освоению (Скрытое и Кти-Тебердинское), в состоянии продлить этот срок на 30 лет. Если ориентироваться на полное обеспечение отечественной промышленности собственным сырьем (без учета экспорта), обеспеченность запасами эксплуатируемых объектов составит около 7 лет, а объекты, подготавливаемые к эксплуатации, увеличат этот срок примерно на 16 лет. При этом, как уже отмечалось, перспективы осваиваемых объектов не очевидны.

Формально в России имеется значительный поисковый задел. Однако прогнозные ресурсы категории P_1 составляют всего около 210 тыс. т WO_3 (около 105 тыс. т в пересчете на условные запасы категории C_2 , которые согласно Металлогеническому кодексу России [6], рассчитываются по формуле $C_2^{учл} = 0,125P_3 + 0,25P_2 + 0,5P_1$). Из них почти 20% распределено между мелкими объектами с ресурсами менее 10 тыс. т WO_3 в каждом. Еще примерно 674 тыс. т WO_3 приходится на ресурсы категории P_2 (около 168 тыс. т в пересчете на условные запасы категории C_2). Среди объектов, на которых локализованные прогнозные ресурсы позволяют ожидать прирост инвестиционно-привлекательных запасов, уже упоминавшееся месторождение Кордонное в Приморском крае (условные запасы категории C_2 около 14 тыс. т WO_3), Гетканчикское рудное поле в Амурской области (около 73 тыс. т) и Марининское рудопроявление в Иркутской области (около 30 тыс. т). При этом реальный интерес может представлять только Гетканчикское рудное поле, имеющее выгодное экономическое положение, – с севера и востока площади проходят железнодорожные линии БАМ, вдоль которых имеются автомобильные дороги. Подчеркнем: все перечисленные объекты находятся в нераспределенном фонде недр. Единственным объектом с апробированными прогнозными ресурсами, который лицензирован (если не считать ресурсы, локализованные на месторождениях распределенного фонда недр), является Рубежное рудопроявление в Приморском крае, разведку которого

ведет ООО «Лермонтовский ГОК», рассматривая его как возможную замену Лермонтовского месторождения. Однако на сегодняшний день перспективы этого объекта незначительны – условные запасы категории C_2 составляют всего около 1 тыс. т WO_3 .

Еще две разведочных лицензии, нацеленные на прирост запасов вольфрама в недрах, расположены в Челябинской области (Гумбейский участок) и Хабаровском крае (Янизапанская площадь). Их ресурсы утверждены территориальными органами Роснедра: Гумбейского участка – 15 тыс. т WO_3 по категории P_2 , Янизапанской площади – 2 тыс. т по категории P_1 и 11 тыс. т по категории P_2 . Пока нет оснований ожидать, что на этих объектах будут получены приросты инвестиционно-привлекательных запасов.

Таким образом, несмотря на размеры имеющейся сырьевой базы вольфрама, в ее составе практически отсутствуют объекты, вызывающие интерес со стороны недропользователей. В связи с этим, если государство заинтересовано в сохранении и развитии отечественного производства вольфрамового сырья и обеспечении им внутреннего спроса, становится актуальной постановка поисковых работ, направленных на выявление месторождений ликвидных вольфрамовых руд. При этом необходимо учитывать, что ликвидность будет определяться не только (или не столько) качеством руд и масштабами месторождения, сколько экономико-географическим расположением объекта, прежде всего развитостью инфраструктуры и приближенностью к потенциальным потребителям.

Однако сразу следует подчеркнуть, что постановка геологоразведочных работ – традиционный, но не единственный способ увеличения запасов минеральных ресурсов. Другой путь решения проблемы сырьевого дефицита – это повышение эффективности использования уже имеющейся сырьевой базы через внедрение более совершенных технологий переработки руд с целью выпуска продукции с более высокой добавленной стоимостью. Применительно к вольфрамовым месторождениям прорывом может стать производство в качестве товарной продукции горных предприятий не концентратов, а вольфрамовых продуктов глубокого передела, таких как вольфрамат натрия, паравольфрамат аммония и др., получение которых возможно в результате переработки бедных концентратов с содержаниями WO_3 всего несколько процентов и даже долей процента [11].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Годовой отчет совета директоров и администрации ОАО «Приморский ГОК» и ОАО «Горнорудная компания «АИР» за 2014 год. 03.07.2015. URL: <http://www.e-disclosure.ru/portal/FileLoad.ashx?Fileid=1114960> (дата обращения: 20.08.2015).
2. Горно-металлургический профсоюз России. Новости. Лермонтовский ГОК: на выживание. 13.10.2016. URL: https://www.gmpr.ru/news/vesti_iz_regionov/14557/ (дата обращения: 13.07.2017).
3. Лантева А.М. Вольфрам // Минеральное сырье: от недр до рынка: в 3-х томах. Черные, легирующие металлы и некоторые неметаллы. Т. 3. – М.: Научный мир, 2011. С. 239–294.
4. Лантева А.М., Егорова И.В. Геолого-экономические и организационно-методические аспекты освоения месторождений рудного сырья в России и за рубежом // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 2015. № 3. С. 76–82.
5. Металлогенический кодекс России. – М.: Геокарт-ГЕОС, 2012.
6. Новости компаний. Лермонтовский ГОК отработан и закрыт – профсоюзы. 13.10.2016. NEDRADV. URL: http://nedradv.ru/news/view/?id_obj=d1b0855b88ac30e0c6855d8005005986 (дата обращения: 13.07.2017).
7. Новости компаний. На Лермонтовском ГОКе могут создать индустриальный парк. 10.08.2016. NEDRADV. URL: http://nedradv.ru/news/view/?id_obj=d77aa7d644b048db6f25be31a50c99f0 (дата обращения: 13.07.2017).
8. Новости компаний. Работы на Скрытом месторождении начнутся через 10 лет. 09.03.2016. NEDRADV. URL: http://nedradv.ru/news/view/?id_obj=9fb0c3da6bebc5d0c4e002658968d2f7 (дата обращения: 13.07.2017).
9. О состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2012 г.: Государственный доклад. – М.: Минприроды России, 2013.
10. О состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2015 г.: Государственный доклад. – М.: Минприроды России, 2016.
11. Технология добычи вольфрама: современное состояние технологий / Р.И.Крайденко, Ю.В.Передерин, Д.С.Филатов и др. // Ползуновский вестник. 2015. №4. Т. 2. С. 135–139.
12. Федеральная Антимонопольная Служба (ФАС России). Документы: анализ и оценка состояния конкурентной среды на рынке вольфрамового концентрата в РФ. 18.02.2015. URL: <http://fas.gov.ru/documents/documentdetails.html?id=1900> (дата обращения: 18.07.2017).
13. Argus Media. An Overview of Downstream Tungsten Markets. 04.08.2016. URL: <http://www.argusmedia.jp/~media/files/pdfs/regional-specific/jp/downloads/argus-metal-pages-forum-082016-tungsten.pdf?la=en> (дата обращения: 18.10.2016).
14. Metal-Pages. News. APT to reach \$300/mtu in next five years – Vital. 25.01.2008. URL: <http://www.metal-pages.com/subscr/story.php?id=30799> (дата обращения: 04.02.2008).
15. W Resources Plc. News. La Parrilla Definition Study Completed. 16.06.2015. URL: <http://www.wresources.co.uk/wp-content/uploads/2015/06/20150616-WRES-La-Parrilla-Definition-Study-Completed.pdf> (дата обращения: 20.06.2015).
16. Wolf Minerals Ltd. Hemerdon Tungsten and Tin Project Definitive Feasibility Study. 16.05.2011. URL: <http://wlf.live.irmau.com/IRM/Company/ShowPage.aspx/PDFs/1070-71645008/DefinitiveFeasibilityStudyResults> (дата обращения: 31.05.2011).

Геологическое строение, позднеархейский интрузивный магматизм и металлогения Ондозерско-Сегозерской площади (Карелия)

А.В.ДМИТРИЕВА, Л.В.КУЛЕШЕВИЧ (Институт геологии Карельского научного центра РАН; 185910, г. Петрозаводск, ул. Пушкинская, д. 11)

Два основных типа позднеархейских интрузий (2,74–2,7 млрд. лет) прорывают зеленокаменные толщи Ондозерско-Сегозерской площади (Карелия). Они относятся к двум сериям: 1 – умереннощелочной (санукитоидной) – дифференцированные от пироксенитов до сиенитов и 2 – известково-щелочной – порфирировидные гранитные комплексы. Рассматриваются: их строение, петрография, петрохимические особенности и оруденение, определившие металлогению территории: 1 – P-Ti-P3Э (с Pt), 2 – Cu-Pb-Zn-Mo (с Bi, Ag, Au). Приводится характеристика отдельных рудных объектов.

Ключевые слова: умереннощелочные дифференцированные и гранитные массивы, геохимия, металлогения, архей, Ондозерско-Сегозерская площадь, Карелия.

Дмитриева Антонина Васильевна
Кулешевич Людмила Владимировна



dmitrieva-a-v@yandex.ru
kuleshev@krc.karelia.ru

Geological structure, Late Archean intrusive magmatism and metallogeny of the Ondozero-Segozero prospect, Karelia

A.V.DMITRIEVA, L.V.KULESHEVICH (Institute of Geology, Karelian Research Centre, Russian Academy of Sciences)

Two major types of Late Archean (2,74–2,7 Ga) intrusions cross-cut the greenstone rocks of the Ondozero-Segozero prospect, Karelia. They belong to two moderately alkaline (sanukitoid) and calc-alkaline series: 1 – differentiated (pyroxenites to syenites) and 2 – porphyreous granitic complexes. Their structure, petrography, petrochemical peculiarities and mineralization determined the metallogeny of the territory: 1 – P-Ti-REE (with Pt), 2 – Cu-Pb-Zn-Mo (with Bi, Ag, Au) are discussed. Individual ore bodies are described.

Key words: moderately alkaline differentiated and granitic massifs, geochemistry, metallogeny, Archean, Ondozero-Segozero prospect, Karelia.

Геологическое строение. Ондозерско-Сегозерская площадь в Центральной Карелии объединяет складчатые архейские зеленокаменные структуры лопийского надгоризонта (AR₂ Ip), гранитогнейсовые и гранитоидные блоки и перекрывающие их узкие вытянутые в северо-западном направлении протерозойские структуры, представленные отложениями сумийско-сариольского и ятулийского надгоризонтов (рис. 1 – названия надгоризонтов, серий и свит даются по местной стратиграфической шкале).

В строении лопийского надгоризонта Сегозерско-Лазаревской зеленокаменной структуры (см. рис. 1), расположенной северо-западнее оз. Сегозеро, принимают участие амфиболиты и зеленые сланцы по базальтам рувинваарской свиты (контокская серия), кварциты и слюдястые сланцы сурлампинской свиты (гимольская серия), выделенные по результатам геологической съемки, проведенной В.А.Ганиным (1983). Тип геоло-

гического разреза этой структуры сопоставляется с отложениями Костомукшско-Гимольского зеленокаменного пояса, формирование вулканогенно-осадочных и терригенных (флишевых) комплексов которого происходило в интервале 2,84–2,71 млрд. лет. Возраст вмещающих пород, установленный по ксенолитам в умереннощелочных массивах, составляет 2784±4 и 2791±8 млн. лет [17, 22].

Терригенные толщи более широко распространены в западной части рассматриваемой площади. Они включают гранат-биотитовые, кварц-биотитовые, кварц-амфибол-биотит-полевошпатовые и в небольшом объеме углеродсодержащие сланцы, локально развиты биотитовые или гронеритовые магнетитовые кварциты. Железистые кварциты образуют небольшие проявления Волома (по р. Волома и аномалии вблизи впадения ее в оз. Сегозеро) и Тумба-речка (западнее изучаемой площади, по В.А.Ганину и др., 1983).

Лопийские зеленокаменные толщи центральной части площади прорываются умереннощелочными дифференцированными от габбро-пироксенитов до сиенитов или монцонитов массивами и порфировидными плагиомикроклиновыми гранитами. В северо-восточном обрамлении структуры (Ондозерском блоке) развиты тоналито-гнейсы, мигматит-граниты и поздние К-граниты с многочисленными ксенолитами разнообразных вмещающих и интрузивных пород (амфиболитов и сланцев по основным и кислым вулканогенно-осадочным толщам), в том числе – пород умереннощелочного комплекса (пироксенитов и габбро-монцонитов), диоритов, габбро [21].

В южной части Ондозерско-Сегозерской площади (южнее оз. Сегозеро) лопийские отложения представлены более древними толщами (3,0–2,86 млрд. лет). В Гормозерской структуре нижняя часть разреза сложена амфиболитами по базальтам семчереченской свиты. Выше залегают разнообразные сланцы по слоистым и агломератовым туфам, метавулканикам кислого и среднего состава, осадкам и коматиито-базальтам, относимым к бергаульской свите. Среди них встречаются прослои черных углеродсодержащих сланцев и колчеданных руд. Рудопоявление колчеданных руд, обнаруженное еще в XIX в., известно как рудник Бергаул (материалы геологоразведочных работ З.Т.Громовой, 1956; М.Е.Зильбер, 1953 [13]).

Подобные зеленокаменные толщи распространены и в других небольших лопийских структурах, сохранившихся в гранито-гнейсах южнее оз. Сегозеро на участках Вожема и Остер. Тип геологического разреза этой части площади сопоставляется с нижнелопийскими отложениями Эльмусской и Койкарской зеленокаменных структур, расположенных в центральной части Ведлозерско-Сегозерского зеленокаменного пояса Центральной Карелии, формирование которых происходило в интервале 3,05–2,85 млрд. лет [15, 16]. Вмещающие толщи прорываются гранитоидными массивами нескольких возрастных групп, внедрявшихся в длительном промежутке времени от 3,0 до 2,7 млрд. лет.

Интрузивные породы и их возраст. В Сегозерско-Лазаревской зеленокаменной структуре севернее оз. Сегозеро наиболее хорошо изучены и продатированы многофазные дифференцированные умереннощелочные пироксенит-монцонит-сиенитовые массивы, формировавшиеся в интервале 2,74–2,72 млрд. лет (Панозерский, Сяргозерский, Шаравалампи), и расположенный северо-западнее изучаемой площади Западно-Хижъярвинский [2, 7, 8, 20] (табл. 1). С габбро-пироксенитовыми дифференциатами массива Шаравалампи связана Р-Ті-рудная минерализация позднемагматического генезиса [18]. Ее возраст был установлен изотопным методом по титаниту и равен $2726,1 \pm 1,3$ млн. лет [5]. Гранодиориты, секущие сиениты Сяргозерского массива возрастом 2,73 млрд. лет [9], близки по времени образования умеренно-щелочным массивам

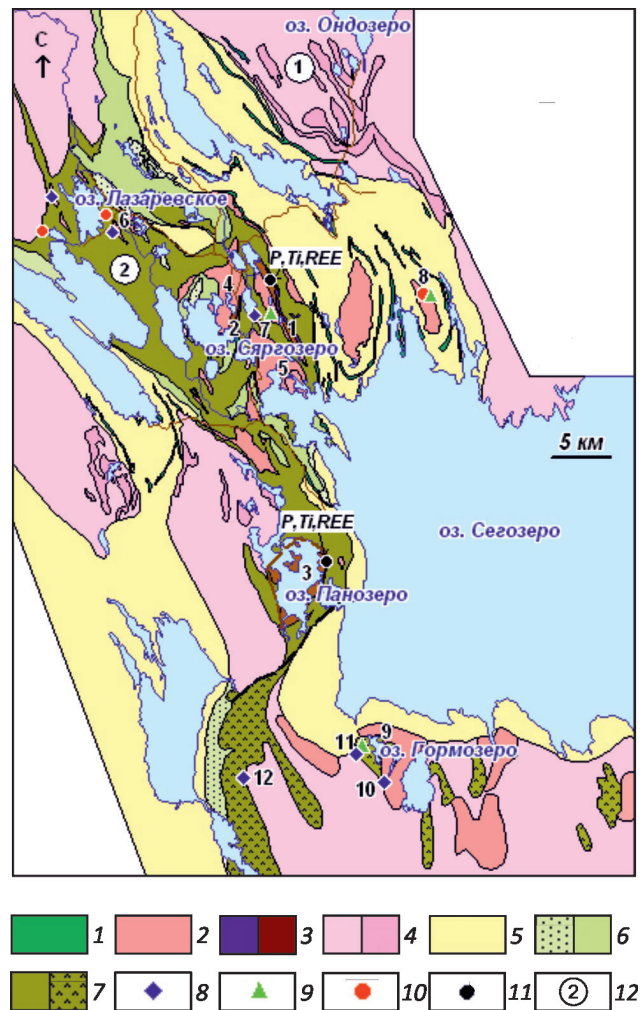


Рис. 1. Схема геологического строения Ондозерско-Сегозерской площади. Составлена с использованием результатов геологической съемки масштаба 1:50 000, по В.А.Ганину и А.П.Бондареву, 1983:

1 – габбродолериты (PR₁); 2 – граниты (AR₂, ~2,73 млрд. лет); 3 – умереннощелочной дифференцированный комплекс: а – пироксениты, б – монцониты, сиениты, ~2,74 млрд. лет; 4 – нерасчлененный комплекс синтетонических гранитоидов: а – диориты, гранитогнейсы, б – К-граниты, мигматит-граниты, ~2,7 млрд. лет; 5 – нерасчлененные отложения ятулийского надгоризонта (PR_{jt}); 6 – сумийско-сариолийский надгоризонт (PR_{sm-sr}): а – конгломераты, б – андезит-базальты; 7 – лопийский надгоризонт (AR_{2/p}), зеленокаменные породы возрастом: а – 2,84–2,71 и б – 3,05–2,86 млрд. лет; рудопоявления: 8 – Мо, 9 – полиметаллические (Pb-Zn-Cu, Bi-Au-содержащие), 10 – золотосодержащие, 11 – Р-Ті-РЗЭ, Cu-Pt-содержащие; 12 – геологические структуры (1 – Ондозерский блок, 2 – Сегозерско-Лазаревская структура); номера объектов массивов и рудопоявлений: 1 – Шаравалампи (проявление Шалговаара), 2 – Сяргозерский, 3 – Панозерский, 4 – Северо-Сяргозерский, 5 – Устьволомский, 6 – проявление Лазаревское, 7 – проявление Тухозеро, 8 – Лебедева гора (проявление Лебедевогорское), 9 – массив Гормозерский (проявления: 10 – Гемми-лампи, 11 – Бергаул), 12 – Сельги

1. Возраст интрузивного магматизма Ондозерско-Сегозерской площади

Массив, район	Порода	Возраст (млн. лет)	Источник
Ондозерско-Сегозерская площадь, северная часть; район оз. Ондозеро, ИЩ массивы	Палингенные граниты	2720±40	19
	Диориты	2780±30	19
	Гнейсо-тоналиты	2687±11÷31	15
Сяргозерский УЩ комплекс	Сиенит	2735±14; 2738±12	9
ИЩ массивы, секущие Сяргозерский комплекс	Гранодиориты	2734±15	9
Панозерский УЩ массив	Монциты-3, кварцевые монциты	2736±4	17
	Монциты-2	2727±4; 2739±11; 2741±12	17, 22
	Монциты-1	2737±11; 2752±26	17, 22
Западно-Хижьярвинский УЩ массив	Пироксениты	2748±13	9
	Лейкосиениты	2744±4	9
	Сиенит	2740±4	9
Южная часть площади; Гормозерский ИЩ и УЩ массивы	Граниты	—	
	Гранодиориты	2730±17	11

Примечание. ИЩ – известково-щелочной, УЩ – умереннощелочной.

дифференцированного комплекса. Более древних по возрасту интрузий не установлено.

В пределах Ондозерского блока, ограничивающего с востока Сегозерско-Лазаревскую зеленокаменную структуру, также не выявлено интрузивных пород древнее чем 2,78 млрд. лет (см. табл. 1). Однако в осадки, по которым образовалась гранито-гнейсовая толща, попадают и более древние ксеногенные цирконы, на что указывает их более древний модельный Sm-Nd-возраст (2,8–2,9 млрд. лет) [1].

Южнее оз. Сегозеро наиболее древние крупные массивы представлены тоналитами и трондьемитами, имеющими возраст 3,1–2,99 млрд. лет и древний Sm-Nd модельный возраст. Они фиксируют краевую часть Водлозерского блока – наиболее «древнее ядро» Фенноскандинавского щита (рис. 2) [1]. Кислый и средний вулканизм бергаульской свиты в этой части площади завершается внедрением небольших интрузий известково-щелочных гранитов, имеющих возраст ~2,88–2,83 млрд. лет (массивы Кармасельгский, Остер), и более поздних посттектонических массивов порфировидных К-гранитов (Гейне-оя, Хижозерский) юго-восточнее оз. Сегозеро возрастом 2,7–2,68 млрд. лет [10, 15]. Порфировидные граниты сопровождаются метасоматическими изменениями, отвечающими условиям грейзенизации–серцитизации, полиметаллическим и молибденовым оруденениями, в некоторых массивах золотосодержащими.

Петрографические и петрохимические особенности интрузивного магматизма северной части Ондозерско-Сегозерской площади. Среди интрузивных пород, прорывающих лопийские зеленокаменные толщи северной части Ондозерско-Сегозерской площади, можно выделить две серии: 1 – дифференцированные умереннощелочные массивы (Сяргозерский, Шаравала-

лампи, Панозерский) и 2 – массивы порфировидных гранитов Устьволомского комплекса (Устьволомский, Северо-Сяргозерский, Восточно-Шаравалампинский). Они близки по времени внедрения, однако имеют петрохимические и геохимические отличия, разную металлогеническую специализацию и связанные с ними рудопроявления.

Умереннощелочной комплекс в пределах изучаемой площади включает массивы Шаравалампи и Сяргозерский Сяргозерского комплекса и Панозерский плутон, дифференцированные от пироксенитов до сиенитов. Изучением этого комплекса занимались многие исследователи: Г.О.Глебова-Кульбах, В.В.Иванов, В.Д.Слюсарев и др. Высокомагнезиальные умереннощелочные породы комплекса, обогащенные щелочами, Cr, Ni, Ba, Sr, P, отнесены к санукитоидной серии [4–6, 20, 23]. Интрузии комплекса образуют вытянутые многофазные тела (Шаравалампи, Сяргозерский) или массивы центрального типа (Панозерский), которые прорывают лопийские метабазалы и биотит-амфиболовые сланцы.

Массив Шаравалампи (рис. 3) включает три магматические фазы: 1 – пироксениты и габбро, 2 – диориты и 3 – сиениты и кварцевые сиениты. Габбро-пироксениты прослеживаются на расстоянии до 3,5 км и имеют мощность 80–300 м. Они также встречаются в ксенолитах среди сиенитов поздней фазы. Породы содержат вкрапленность титаномагнетита, титанита, халькопирита и хорошо выделяются в магнитном поле. Массив секут аплитовидные дайки северо-восточного простирания и жилы альбититов. Внедрение каждой из последующих фаз комплекса сопровождается метасоматическими изменениями, которые протекали в несколько стадий и представлены [4]: 1 – аутометасоматической амфиболизацией габбро-пироксенитов 1-ой фазы

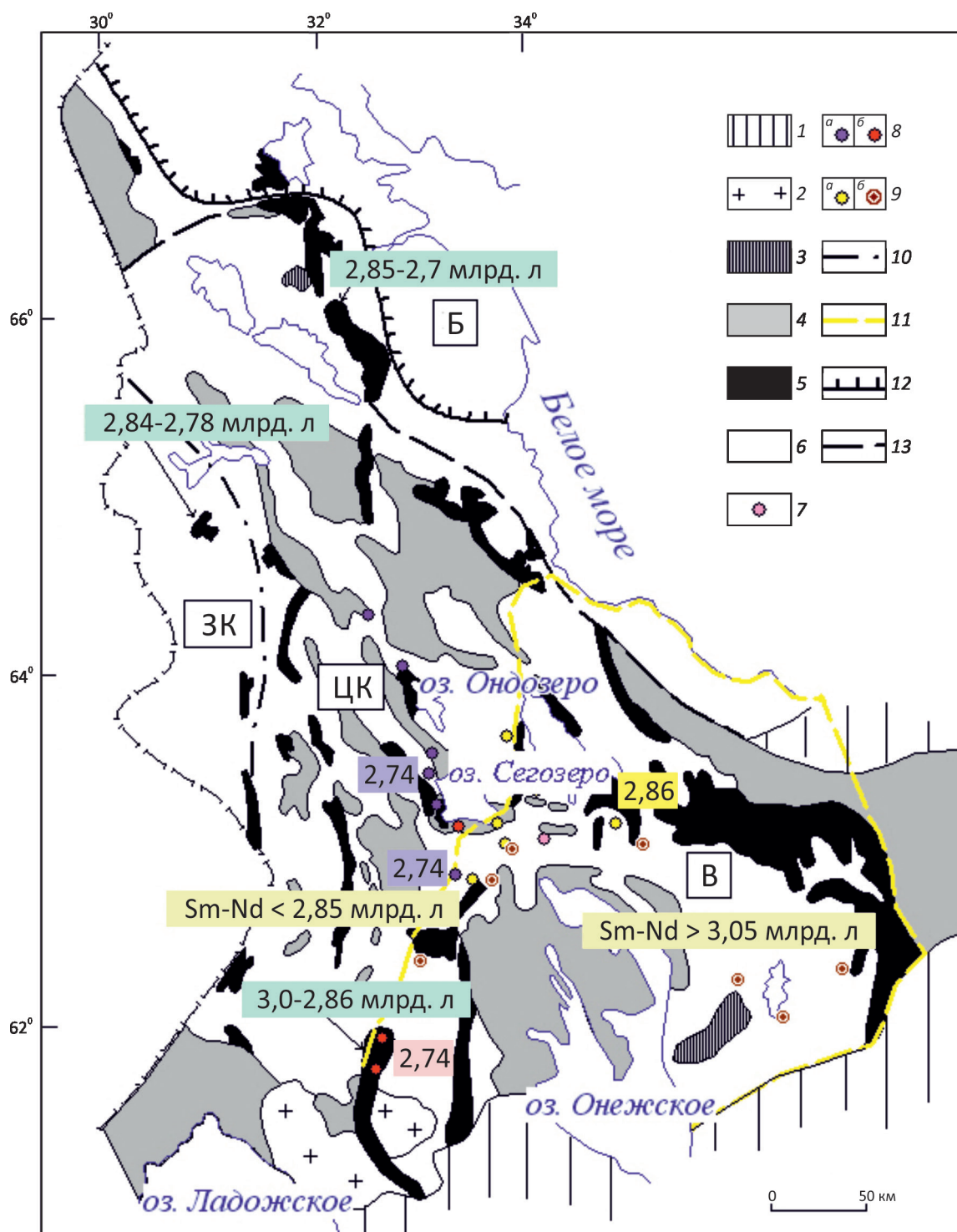


Рис. 2. Возрастные группы умереннощелочных и известково-щелочных массивов центральной Карелии. По работе [1]:

1 – платформенный чехол; 2 – граниты-рапакиви (PR_2 , R); 3 – интрузии мафитов (PR_1); 4 – осадочно-вулканогенные толщи (PR_1); 5 – зеленокаменные пояса (AR_2); 6 – гранитоиды (AR); массивы: 7 – умереннощелочные граниты (~2,7 млрд. лет), 8 – санукитоиды (~2,74 млрд. лет): а – пироксенит-монцонит-сиенитового и б – монцодиорит-граносиенит-монцогранитового и гранодиоритового составов; 9 – древние ТТГ-граниты: а – 2,88–2,86 и б – 3,31–2,9 млрд. лет; границы доменов: 10 – западного и 11 – Водлозерского; названия доменов: ЗК – Западно-Карельский, ЦК – Центально-Карельский, В – Водлозерский; граница: 12 – Беломорского домена (Б) и 13 – Беломорского подвижного пояса; цифрами показан возраст массивов, зеленокаменных поясов и модельный Sm-Nd для доменов



Рис. 3. Схема геологического строения района оз. Сяргозеро. С дополнениями, по работе [18]:

1 – метабазальты; 2 – черные сланцы, 3 – амфиболизированные габбро; 4 – гранодиориты-плагиограниты; 5 – Сяргозерский комплекс: а – пироксениты, б – диориты, габбро-диориты, в – сиениты, кварцевые сиениты; 6 – аплитовые лейкограниты; 7 – четвертичные отложения, 8 – дайки умереннощелочных кварцевых диоритов и диорит-гранодиоритовых плагиопорфиров (а), разломы (б); 9 – альбититы; 10 – полиметаллическая (а) и молибденовая (б) минерализация, точки отбора образцов (в); 11 – элементы залегания; массивы: 1 – Шаравалампи, 2 – Сяргозерский, 3 – Северо-Сяргозерский, 4 – Устьволомский, 5 – Восточно-Шаравалампинский

(пироксениты содержат вкрапленность титаномagnetита и сульфидов 1–4%). 2 – щелочным метасоматозом (калишпатизация, биотитизация), развивающимся по породам 1-й фазы и сопровождающим внедрение сиенитов 3-й фазы. Со 2-й стадией связано образование подщелоченного амфибола, Ва-К-полевого шпата, альбита, флогопита, апатита и титанита (Р-Тi-рудной минерализации с редкоземельными элементами). 3 – образование альбититов и поздних эпидот-кварцевых жил. Жилы альбититов секут породы всех фаз.

Сяргозерский массив представлен габбро-пироксенитами, средне-, крупно- и гигантозернистыми порфировидными сиенитами, протягивающимися от восточного берега оз. Сяргозеро до оз. Торосозеро (см. рис. 3).

Панозерский массив овальной формы и размером 7×4 км обнажен по берегам оз. Панозеро (см. рис. 1). Массив представляет собой многофазную интрузию центрального типа, сформировавшуюся в несколько импульсов в пределах небольшого отрезка времени – 2,74–2,73 млрд. лет (см. табл. 1). В каждой из последующих фаз встречаются многочисленные ксенолиты более ранних фаз внедрения и вмещающих пород [2]. В северо-восточной части массива развита наиболее ранняя фаза пироксенитов.

Петрографо-петрохимические особенности пород. Пироксениты и габбро 1-й фазы Сяргозерского комплекса представляют собой массивные средне- и крупнозернистые породы. Наименее измененные пироксениты содержат (в %): диопсид 70–85, ильменит и магнетит 5–10, F-апатит 3–10, титанит 5–15, акцессорные циркон, алланит, Се-эпидот. Вторичные минералы в них представлены темно-зеленой роговой обманкой до 10–80%, актинолитом, эпидотом. Пироксениты часто подвержены амфиболизации. Метагаббро содержат плагиоклаз до 50–60%, замещенный альбитом и цоизитом, роговую обманку и биотит, вкрапленность магнетита, титанита. С габбро-пироксенитами массива Шаравалампи связаны апатит-магнетит-титанитовые небогатые вкрапленные руды, образующие залежь протяженностью ~1,5 км при мощности 10–60 м. Содержание Ti-Fe-минералов в рудных горизонтах невысокое и составляет около 20%. К этим же рудным горизонтам приурочены минералы, содержащие редкоземельные элементы – алланит, Се-эпидот, апатит и титанит, а также вкрапленность халькопирита. Для пироксенитов с бедной халькопиритовой минерализацией характерны повышенные содержания элементов платиновой группы.

Диориты 2-й фазы состоят (в %): из бледно-зеленого порфировластического амфибола 30–40, олигоклаза 30–45, биотита 5–10, титанита 1–3 и апатита. При изменении пород плагиоклаз замещается альбитом и цоизитом.

Сиениты и кварцевые сиениты 3-й фазы красноватого и светло-розового цвета, средне- и крупнозернистой структуры. Сиениты Сяргозерского массива выделяются гигантозернистой порфировидной структурой с вкрапленниками калиевого полевого шпата до 5 см. Содержание темноцветных минералов варьирует от 5 до 30%. Породы сложены преимущественно (в %): полевыми шпатами до 60–80, содержащими микроклин, анортклаз, альбит, диопсидом 5–7, роговой обманкой 10–15, актинолитом 2–12, эпидотом 1–5, биотитом 1–2, титанитом 2–3, апатитом 2–3, ильменитом и магнетитом 1–2. Акцессорные минералы представлены цирконом, алланитом, Се-эпидотом. В кварцевых сиенитах содержание кварца достигает 7–10%.

Внедрение дифференциатов поздней фазы сопровождается интенсивной амфиболизацией и эпидотизацией пироксенитов и габбро, которые обогащаются апатитом и титанитом, биотитом-флогопитом,

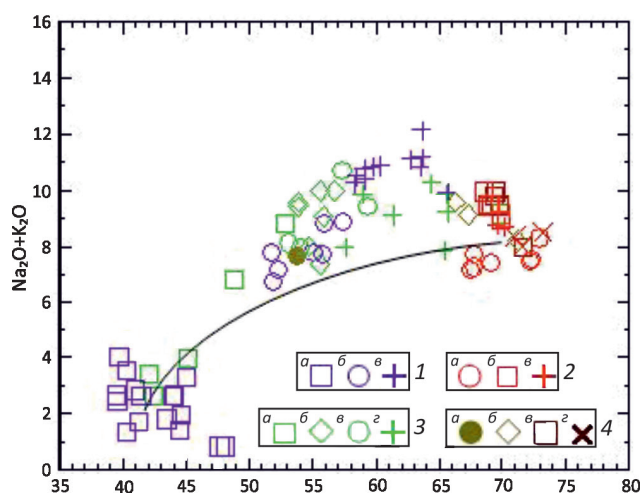


Рис. 4. Диаграмма $\text{SiO}_2-(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$ для пород дифференцированных умереннощелочных комплексов и гранитоидов Ондозерско-Сегозерской площади:

1 – Сяргозерский умереннощелочной комплекс: а – пироксениты, габбро, б – диориты, в – сиениты, кварцевые сиениты; 2 – гранитоиды Устьволомского комплекса: а – плагиограниты, массив Восточно-Шаравалампинский, б – гранодиориты, массив Северо-Сяргозерский, в – гранодиориты, массив Устьволомский; 3 – Панозерский умереннощелочной комплекс: а – пироксениты, монцогаббро, б – монцониты 1-й фазы, в – монцониты 2-й фазы, г – монцониты 3-й фазы; 4 – Гормозерский массив: а – диориты, б – гранодиориты, в – гранит-порфиры, г – гранит-аплиты

Ва-содержащим К-полевым шпатом, более поздними альбитом, баритом и TR-F-карбонатами.

Содержание SiO_2 в породах комплекса увеличивается от 40–45% (в пироксенитах) до 64,4% (в кварцевых сиенитах). С возрастанием кремнезема сумма щелочей повышается от 1,6 в пироксенитах до 11,4% в гигантозернистых сиенитах (табл. 2, рис. 4). Магнезиальность пород (mg#) при этом снижается от 0,6 до 0,41. Составы пород комплекса формируют единые эволюционные тренды, что подтверждает их генетическую связь и фракционный характер кристаллизации. С увеличением содержания кремнезема уменьшается концентрация TiO_2 , FeOt, MgO, CaO, P_2O_5 . Отклонения составов могут быть связаны с неоднородным распределением кумулусных фаз и наложением поздних процессов.

Пироксениты с рудной минерализацией участка Шаравалампи содержат (в ppm): V 270–417, Cr 83–703, обогащены РЗЭ (с преобладанием элементов La-Ce-группы), Y до 74,3, Zr 74–278, Nb 14–30,2. Содержание Sr в пироксенитах составляет 627 ppm, в измененных разностях возрастает до 1668–2750 ppm. Концентрация Ba достигает 3132 ppm в калишпатизированных породах и биотитизированных пироксенитах. Более высокие,

чем в сиенитах содержания Nb (14–30 ppm) и Ta коррелируются с Ti (приурочены к титанитовой минерализации). В породах с халькопиритовой минерализацией увеличивается содержание Cu, Ni, Co, Pb.

Сиениты отличаются наиболее высокими или повышенными концентрациями редких и редкоземельных элементов (в ppm): Sr 1390–2234, Ba 1740–2800, Y 12–26, $\Sigma\text{РЗЭ}$ 332–453. Содержания Ba и Sr контролируются присутствием К-полевого шпата и присутствием более поздних вторичных сульфатов (барита, стронциобарита, целестина). Концентрации в них составляют (в %): Nb 8–13, Zr 51–224, Cu 15–114, Th 6–13 и снижаются в породах поздних фаз других рудогенных элементов – близко к кларкам для соответствующего типа пород.

Таким образом, все разновидности пород Сяргозерского комплекса характеризуются высоким содержанием Ba, Sr, РЗЭ, особенно легких (рис. 5). С увеличением SiO_2 концентрация редких земель снижается до 270 ppm, что возможно при фракционировании постоянной ассоциации минералов-концентраторов РЗЭ. Степень фракционирования $(\text{La/Yb})_N=23\text{--}52$, отношение $\text{Rb/Sr} \ll 1$.

Устьволомский комплекс объединяет массивы порфировидных гранитоидов (см. рисунки 1 и 2). К ним относятся более крупные Устьволомский и Северо-Сяргозерский массивы и ряд небольших массивов – Восточно-Шаравалампинский, Лебедева Гора и район оз. Лазаревское.

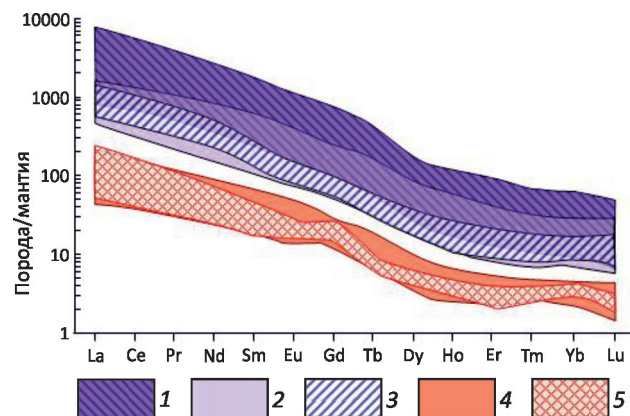


Рис. 5. Распределение РЗЭ в породах дифференцированных умереннощелочных комплексов и гранитоидах Ондозерско-Сегозерской площади:

1–3 – Санукитоидная серия: 1 – Сяргозерский умереннощелочной комплекс (пироксениты, диориты, сиениты), 2 – Панозерский массив (пироксениты, монцогаббро, монцониты), 3 – Гормозерский массив, западная часть (диориты, гранодиориты); 4–5 – ТТГ-серия: 4 – Северо-Сяргозерский, Устьволомский, Восточно-Шаравалампинский массивы (гранитоиды), 5 – Гормозерский массив, центральная часть (гранит-порфиры, гранит-аплиты)

2. Химический состав интрузивных пород Ондозерско-Сегозерской площади (в массовых долях %, ppm)

Компоненты	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
SiO ₂ (%)	41,26	44,72	41,56	43,98	39,91	53,74	52,54	54,34		59,72	59,14	58,47
TiO ₂	1,94	1,64	1,94	2,28	1,89	0,95	1,06	0,76		0,68	0,71	0,88
Al ₂ O ₃	4,79	5,24	7,43	7,97	4,84	12,87	15,04	14,72		16,33	15,78	15,54
Fe ₂ O ₃	10,15	12,03	9,6	9,41	9,28	5,6	3,32	2,70		3,78	3,35	4,27
FeO	9,48	2,94	7,68	8,62	9,25	4,45	5,17	5,13		2,29	2,87	2,22
MnO	0,331	0,34	0,324	0,351	0,24	0,155	0,152	0,17		0,097	0,1	0,12
MgO	10,48	10,57	10,26	7,9	12,09	2,79	6,53	6,39		1,8	2,28	1,45
CaO	16,13	18,13	15,24	13	15,27	7,99	5,75	5,81		3,77	4,29	5,97
Na ₂ O	0,88	1,33	1,02	1,34	0,51	3,44	5	4,48		6,69	6,12	5,63
K ₂ O	0,67	0,52	1,41	1,11	1,38	5,25	2,58	2,86		3,46	3,97	4,08
ппп	1,77	1,09	1,9	2,63	2,19	1,48	1,7	1,51		0,69	0,65	0,68
P ₂ O ₅	1,27	1,3	1,4	0,84	2,53	0,66	0,8	0,5		0,31	0,33	0,5
Сумма	99,57	99,99	99,94	99,56	99,81	99,58	99,75	99,73		99,87	99,78	99,90
mg#	0,5	0,56	0,53	0,45	0,56	0,35	0,59	0,60		0,36	0,41	0,27
alk	1,55	1,85	2,43	2,45	1,88	8,69	7,58	7,34		10,15	10,09	9,71
Na ₂ O/K ₂ O	1,31	2,56	0,72	1,21	0,47	0,66	1,94	1,57		1,93	1,54	1,38
al'	0,16	0,21	0,27	0,31	0,16	1	1	1,03		2,07	1,86	2,0
Rb (ppm)	24,01	20,36	58	30,56		83,12	78,74		104,4	28,23	57,34	87,9
Sr	627,2	1060	1702	1363		1668	1024,61		803,3	2234	1691	1612,7
Y	59,18	74,34	65,63	71,22		29,6	37,73		13,56	23,58	20,55	24,54
Zr	99,24	105,9	84	277,9		73,65	165,58		52,13	102,7	50,63	192,7
Nb	15,69	22,88	13,81	30,24		2,02	26,86		6,45	11,27	10,02	13,08
Pb	5,77	8,09	10,95	11,47		12,5	9,05		7,87	15,28	10,88	13,9
Th	14,88	17,96	12,1	47,21		6,02	12,4		3,31	9,89	9,36	9,5
U	1,94	1,18	0,81	2,43		0,59	1,23		0,91	0,66	0,77	0,97
Ba	96,97	120,3	140,7	248,5		3132	1231		1311	2378	2375	1943
Cr	116,9	83,21	132,2	119,3		71,51	21,39		472,7	33,89	56,25	44,55
Ni	69,18	66,33	89,04	73,89		30,71	21,04		202,8	21,95	32,61	30,22
Co	59,44	44,81	54,02	50,17		25,63	20,37		38,81	11,26	14,2	17,5
V	417	268,9	317,1	332,1		167	150,32		182,4	88,87	109,4	122
Cu	32,72	702,1	90,8	31,17		127,6	114,11		26,84	25,27	15,04	109,2
Ta	0,87	1,7	0,78	1,74		0,1	3,15		0,29	0,62	0,54	1,04
ΣРЗЭ	195	1347	1246	1459		539	825		316	378	347	446,5
(La/Yb) _N	34,97	51,33	33,36	35,31		13,12	34,1		33,59	24,91	23,05	37,72
№ обр.	IIIa-424	IIIa-5	IIIa5/1	IIIa-419		IIIa-420	III-7			IIIa-416	IIIa-417	
n	1	1	1	1	2	1	1	3	1	1	1	2

Продолжение табл. 2

Компоненты	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
SiO ₂ (%)	63,68	64,44	63,62	60,36	62,74	67,52	69,15	68,96	69,22	68,56	68,9	70,16	69,58
TiO ₂	0,52	0,42	0,54	0,62	0,48	0,4	0,3	0,21	0,23	0,27	0,25	0,3	0,3
Al ₂ O ₃	16,15	15,97	16,4	15,84	14,89	15,71	15,02	15,32	15,57	15,54	15,72	15,98	15,13
Fe ₂ O ₃	2,05	1,62	2,04	2,9	1,94	1,51	0,8	1,37	1,16	1,53	1,83	0,52	1,05
FeO	1,87	2,15	1,51	3,08	1,87	1,8	1,93	0,86	0,86	0,72	0,65	0,86	1,15
MnO	0,066	0,066	0,074	0,111	0,072	0,041	0,039	0,032	0,03	0,032	0,028	0,024	0,04
MgO	1,42	1,45	1,31	2,38	1,67	1,64	1,1	0,94	0,73	0,73	0,78	1,02	1,04
CaO	2,53	2,66	2,39	3,62	3,4	2,97	3,4	2,37	2,37	2,37	2,19	1,33	1,92
Na ₂ O	6,96	6,35	6,67	6,02	5,66	4,61	4,99	5,76	5,89	5,8	5,6	5,26	5,14
K ₂ O	3,5	4,23	4,72	4,21	4,79	2,08	1,97	3,11	2,97	3,48	2,92	2,92	3,11
ппп	0,81	0,4	0,34	0,48	1,73	1,31	1,1	0,57	0,49	0,56	0,66	1,48	0,8
P ₂ O ₅	0,29	0,17	0,32	0,26	0,26	0,19	0,05	0,11	0,16	0,19	0,11	0,01	0,11
Сумма	100	100	99,98	99,99	99,66	99,99	100	99,77	99,85	99,93	99,73	99,98	99,54
mg#	0,41	0,42	0,41	0,43	0,45	0,48	0,42	0,44	0,41	0,38	0,38	0,58	0,47
alk	10,46	10,58	11,39	10,23	10,45	6,69	6,96	8,87	8,86	9,28	8,52	8,18	8,25
Na ₂ O/K ₂ O	1,99	1,5	1,41	1,43	1,18	2,22	2,53	1,85	1,98	1,67	1,92	1,8	1,65
al'	3,02	3,06	3,37	1,89	2,72	3,17	3,92	4,83	5,66	5,21	4,82	6,66	4,67
Rb (ppm)	62,86	43,03	72,58	52,03	52,54	62,26	38,71	33,75	56,67	56,67		60,05	51,84
Sr	1040,6	663,4	1394,6	1445	746,8	645,4	476,8	1013	1050	1151		236,6	596,5
Y	11,29	8,41	12,22	16,57	13,84	5,14	4,84	3,04	3,66	4,11		2,9	4,17
Zr	143,38	77,57	99,06	122,6	44,44	50,3	52,85	95,49	95,53	120,6		55,43	74,25
Nb	10,02	6,25	8,38	8,267	7,93	2,17	2,48	3,61	3,67	4,57		3,07	3,02
Pb	63,28	7,9	15,94	14,93	6,39	8,06	6,8	8,27	10,25	15,64		3,71	8,52
Th	12,97	9,14	8,08	8,42	4,51	1,74	4,22	3,76	4,54	4,37		4,85	4,33
U	3,68	0,38	1,2	0,66	1,13	0,31	0,46	0,73	0,89	1,11		0,38	1,05
Ba	1972	1412	1986	2103	2802	854	676	1547	1458	1645		943	1327
Cr	33,16	29,34	28	51,2	39,12	33,64	55,32	26,85	26,48	17,53		45,4	27,46
Ni	19,65	19,73	17,03	30,46	25,94	27,96	40,44	15,85	15,18	8,705		20,62	13,68
Co	8,51	5,53	8,26	12,59	9,41	9,48	7,91	3,2	3,92	3,22		2,58	4,74
V	63,52	38,88	64,2	94,78	57,94	46,68	34,1	22,29	21,07	21		27,19	30,49
Cu	10,58	4,08	31,42	24,13	13,08	10,83	11,68	11,73	10,18	11,27		9,01	4,25
Ta	0,68	0,29	0,66	0,35	0,38	0,18	0,17	0,16	0,17	0,22		0,17	0,16
ΣPЗЭ	297	155	333	339	274	80,2	15,2	41,2	75	76,1		28	49,3
(La/Yb) _N	52,3	26,36	51,92	31,88	34,63	31,25	19,77	7,49	21,34	35,7		9,1	11,76
№ обр.	III-11	IIIa-11	III-9	IIIa-9	C-434	III-1	IIIa-1	C-431	C-431/1	C-432	250	438	439
n	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Примечание. 1–17 – дифференцированный пироксенит-сиенитовый Сяргозерский комплекс: массив Шаравалампи: 1–5 – пироксениты, 6 – калишпатизированный пироксенит, 7 – измененное габбро, 8–9 – диорит, 10–12 – сиениты; массив Сяргозерский: 13–14 – кварцевый сиенит, участок Торосозеро; 15–17 – гигантозернистый сиенит, участок Сяргозеро; Устьволомский гранодиорит-гранитный комплекс: 18–19 – плагиограниты, массив Восточно-Шаравалампинский; 20–23 – порфировидные гранодиориты, массив Северо-Сяргозерский; 24–25 – порфировидные гранодиориты, массив Устьволомский; n – число анализов; пустая клетка – не определялись.

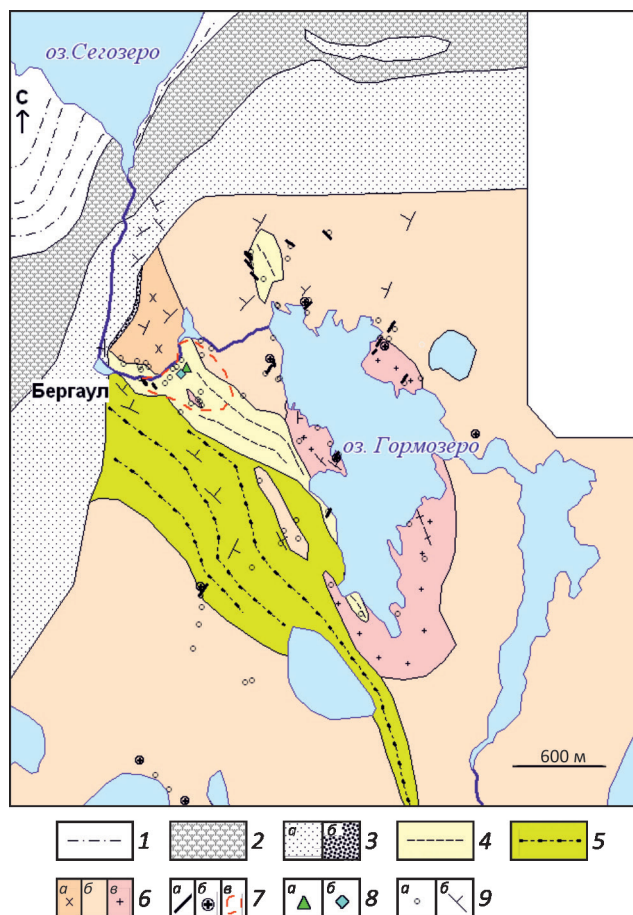


Рис. 6. Схема геологического строения Гормозерского массива. По материалам Л.В.Кулешевич и В.А.Костина:

1–3 – Ятулийский надгоризонт, PR_1jt : 1 – аргиллиты, песчаники, 2 – базальты, 3 – кварциты, кварцевые конгломераты (а), кора выветривания (б); 4–5 – Лопийский надгоризонт (AR_2lp): 4 – сланцы по кислым туфам, черным сланцам, прослои коматиитобазальтов и колчеданных руд, 5 – амфиболиты по базальтам; 6–7 – Гормозерский массив: 6 – гранодиориты (а), порфировидные Na-K-граниты (б), K-граниты (в), 7 – дайки и малые тела аплитов (а), пегматиты (б), грейзенизация, серицитизация (в); 8 – рудопроявление Бергаул: а – колчеданное, б – Cu-Zn-Pb-Mo; 9 – точки отбора образцов (а), элементы залегания (б)

Северо-Сяргозерский массив (размером 5×7 км) расположен севернее одноименного озера (см. рисунки 1 и 2). Породы массива представлены розовато-серыми, крупнозернистыми, порфировидными лейкократовыми гранодиоритами. Основная масса сложена (в %): плагиоклазом 45–50, микроклином 20–25, кварцем 25, биотитом 1–2. Порфировидные вкрапленники калиевого полевого шпата достигают 0,5–1 см. Акцессорные минералы представлены титанитом, цирконом, единичными сульфидами. Изменения пород выражены в

эпидотизации и серицитизации плагиоклаза (эпидот до 4 и серицит до 1–2%).

Устьволомский массив подобен Северо-Сяргозерскому и сложен крупнозернистыми, порфировидными, иногда катаклазированными лейкократовыми гранодиоритами, содержащими (в %): плагиоклаз 40–45, микроклин 25–30, кварц 25–30, биотит 4, акцессорный титанит. Вкрапленники представлены плагиоклазом и микроклином. Породы безэтицированы, в них встречаются прожилки кварца, и по микротрещинам развиваются эпидот, биотит, серицит, кальцит, титанит, пирит, в северной части массива встречаются молибденит, халькопирит, галенит.

Восточно-Шаравалампинский массив сложен среднезернистыми порфировидными плагиогранитами, содержащими (в %): плагиоклаз 60–65, кварц ~25, амфибол 2–4, биотит 2–3 и титанит 1–2. Вкрапленники плагиоклаза (10–15%), замещаются эпидотом (2–3%) и серицитом (2–3%). По микропрожилкам развиваются эпидот, биотит, амфибол и титанит.

Петрохимические особенности пород. Гранодиориты содержат SiO_2 68,5–70,2%, имеют несколько повышенную сумму щелочей – 8,2–9,3% ($Na_2O + K_2O$). В гранитах содержание кремнезема увеличивается от 67,5 до 73% при сумме щелочей 6,7–7,7% (см. рис. 3). В гранодиоритах и гранитах Устьволомского комплекса магнезиальность ($mg\# < 0,5$) ниже, чем в породах санукитоидной серии. От умереннощелочного Сяргозерского комплекса они отличаются низким суммарным содержанием РЗЭ (15–80 ppm). Спектры распределения редких земель соответствуют ТТГ-комплексам, обедненным тяжелыми РЗЭ (см. рис. 5), степень фракционирования $La/Yb_N = 10–30$. В породах Устьволомского комплекса содержание всех когерентных, некогерентных (Ba-Sr) и рудогенных элементов гораздо ниже, чем в породах Сяргозерского комплекса.

Петрографические и петрохимические особенности интрузивного магматизма южной части Ондозерско-Сегозерской площади. Гормозерский массив (размер 3×7 км) порфировидных гранитов прорывает более древние вмещающие лопийские толщи юго-западнее оз. Сегозеро (см. рисунки 1 и 6). Он представлен гранодиоритами и крупнозернистыми порфировидными Na-K и K-гранитами, прорывается дайками аплитов и жилами пегматитов. В экзоконтакте массива расположено колчеданное и молибден-полиметаллическое (Pb-Zn-Cu-Mo) рудопроявление Бергаул.

Массив сложен розовато-серыми порфировидными Na-K-гранитами, которые в центральной части сменяются светло-розовыми порфировидными преимущественно K-гранитами. Порфировидные граниты содержат: микроклин 20%, выделяющийся в виде крупных кристаллов размером до 3 см, кварц 25%, плагиоклаз 50–52%, биотит 3–5%. В высококалийных гранитах содержание микроклина возрастает до 35–40%, присутствуют (в %): плагиоклаз 30–35, кварц 25–27, биотит 2

3. Химический состав интрузивных и вмещающих пород южной части Ондозерско-Сегозерской площади, участок Бергаул (в массовых долях %, ppm)

Компоненты	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
SiO ₂ , %	66,24		69,60	69,86	74,54	73,28	70,90	71,64	46,39	56,38	69,72	60,92
TiO ₂	0,34		0,18	0,18	0,09	0,14	0,10	0,18	0,39	0,12	0,33	0,82
Al ₂ O ₃	16,49		15,10	16,16	13,57	14,66	15,71	15,19	8,38	13,88	15,66	16,28
Fe ₂ O ₃	1,40		1,61	1,01	0,48	1,15	0,99	0,43	1,65	1,35	1,61	2,20
FeO	0,93		0,94	0,57	0,82	0,43	0,57	1,08	8,05	6,07	1,08	3,02
MnO	0,040		0,023	0,035	0,025	0,019	0,037	0,029	0,201	0,115	0,06	0,084
MgO	1,64		0,91	0,70	0,26	0,72	1,64	0,92	21,70	12,44	1,92	2,66
CaO	2,52		1,21	1,97	0,90	1,12	1,00	1,68	7,95	1,40	0,54	3,76
Na ₂ O	5,13		5,16	5,32	4,05	5,53	6,91	5,98	0,47	0,97	3,21	4,61
K ₂ O	3,87		4,15	3,49	4,65	2,45	0,90	1,47	0,04	1,22	3,37	3,06
H ₂ O	0,18		0,04	0,08	0,06	0,21	0,06	0,06	0,11	0,27	0,10	0,20
Ппп	0,97		0,80	0,40	0,44	0,58	1,25	1,14	4,12	5,29	2,09	1,53
P ₂ O ₅	0,18		0,09	0,10	0,04	0,07	0,08	0,08	0,05	0,02	0,16	0,61
Сумма	99,93		99,81	99,88	99,93	100,36	100,15	99,88	99,50	99,53	99,85	99,75
S	0,03		0,024	0,015	0,02	0,11	0,01	0,06	0,19	0,06	0,1	0,003
alk	9,0		9,31	8,81	8,7	7,98	7,81	7,45	0,51	2,19	6,58	7,67
Na ₂ O/K ₂ O	1,33		1,24	1,52	0,87	2,26	7,68	4,07	11,75	0,80	0,95	1,51
al'	4,15		4,36	7,09	8,70	6,37	4,91	6,25	0,27	0,70	3,40	2,07
A/CNK	1,10		1,07	1,13	1,08	1,15	1,19	1,17	1,04	3,31	1,66	1,14
mg#	0,57		0,41	0,46	0,27	0,47	0,67	0,53	0,80	0,75	0,58	0,49
Li (ppm)	43,87	46,03	27,98	46,0		37,77	28,74	36,94	37,61	153		
Be	2,52	2,47	1,51	1,56		2,10	3,77	2,86	0,45	0,93		
V	но	477	195	257		447	244	но	93	43		
Cr	51,93	61,78	70,24	58,86		96	83,1	35,45	2164	210		
Co	3,37	3,47	3,91	2,99		3,68	4,32	2,83	66,9	46,61		
Ni	29,31	27,57	31,58	22,39		38,05	41,66	17,11	614,8	235,2		
Cu	8,37	9,18	9,77	5,26		29,31	7,16	8,16	4,54	2,15		
Zn	79,42	39,90	78,45	85,38		168,2	38,2	77,01	248,6	300,4		
Ga	19,55	23,43	20,37	21,24		19,57	14,51	20,02	8,51	18,1		
As	но	327,32	55,27	54,13		70,12	34,54	но	но	но		
Se	3,22	13,73	12,47	9,75		12,58	9,42	но	но	0,27		
Rb	62,93	89,61	87,24	113,18		57,16	25,10	56,63	0,98	39,0		
Sr	793	1009	586	937		569	349	570	18,71	52,28		
Y	10,21	12,54	4,07	5,07		3,54	4,82	3,74	8,95	2,79		
Zr	118,72	102,16	58,39	69,52		57,08	64,5	64,84	12,86	37,62		
Nb	8,24	7,38	3,05	4,22		4,28	2,17	4,55	1,16	3,34		
Mo	0,74	0,62	0,94	0,70		1,43	0,70	2,02	0,63	3,44		
Cd	0,33	0,44	0,28	0,34		0,53	0,31	0,27	0,12	0,30		
Sn	1,22	1,48	0,92	1,06		0,81	1,07	0,42	0,38	0,35		
Sb	но	1,21	2,18	1,92		2,36	1,32	но	но	но		
Te	0,46	0,83	0,45	0,69		0,15	0,45	0,16	1,04	0,15		
Cs	4,34	4,75	2,25	4,49		1,98	1,31	7,71	0,11	2,24		
Ba	1736	2006	1771	2349		1364	319	902	9,26	695		
Hf	4,36	3,88	1,96	2,52		2,26	2,36	2,72	0,62	3,33		
Ta	0,93	0,48	0,27	0,52		0,56	0,08	0,44	0,26	1,06		
W	0,23	0,20	0,26	0,18		0,32	0,38	0,47	0,16	0,39		
Pb	14,61	19,68	8,42	18,42		50,16	10,68	9,05	1,95	6,52		
Bi	0,15	0,12	0,07	0,09		0,25	0,33	0,19	0,51	0,13		
Th	7,66	9,25	2,41	4,17		3,67	2,57	5,08	0,13	9,80		
U	2,61	3,65	0,42	1,06		2,97	0,89	2,08	0,27	10,52		
ΣРЗЭ	203,3	282,4	75,77	72,64		62,72	33,27	56,87	15,14	14,01		
(La/Yb) _N	22,32	31,65	22,31	17,24		17,08	6,66	12,36				
№ обр.	Б-19	Б-19а	7501/1	7501/3	К-гр	Б-15	5003	1156/5	5003/7	Б-9п	рд	анд
n	1	1	1	1	2	1	1	1	1	2	5	1

Примечание. Горнозёрский массив (1–8): 1–2 – гранодиориты (санукитоидная серия), 3–4 – граниты порфировидные (ТТГ-серия), 5 – калиевые граниты, 6–8 – гранит-аплиты (дайки и малые тела); 9 – сланцы по коматиито-базальтам, 10 – дайки основного состава, 11–12 – сланцы по туфам кислого и среднего состава; пустая клетка – не определялись, n – число анализов.

и мусковит 1. В краевой западной части массива развиты среднезернистые розовато-серые гранодиориты.

Порфиоровидные граниты и вмещающие их толщи бергаульской свиты в западном и северном экзоконтактах массива секутся многочисленными жилами, дайками и небольшими телами гранит-аплитов поздней фазы. Многочисленное скопление даек установлено в краевых частях массива и на участке Бергаул. Аплитовые жилы имеют северо-западное (340°) и северо-восточное (70°) простирание, на месторождении Бергаул – преимущественно северо-восточное и мощность от 0,12 до 10 м (в среднем 1–2 м). По химическому составу они близки порфиоровидным гранитам (табл. 3, № 5–7), но имеют более натриевую щелочность, содержат альбит, кварц, биотит (3%) и в незначительном количестве калиевый полевой шпат.

Петрохимические особенности пород. Гранодиориты массива содержат SiO_2 в среднем 66,24% (см. рис. 4), имеют повышенную щелочность (Σalk до 9,0%), $\text{mg\#}=0,57$, концентрации Ba, Sr, а также $\Sigma\text{P3Э}=203$ ppm (см. табл. 3, № 1–2). Содержание SiO_2 в гранитах колеблется от 69,6 до 74,54%, $\text{mg\#}=0,41$ –0,46 (см. табл. 3, № 3–4). Породы также выделяются повышенной $\Sigma\text{alk}=8,7$ –9,31% (причем содержание K возрастает в центральной части массива), содержаниями Ba, Sr, но низкой $\Sigma\text{P3Э}$. Таким образом, по петрохимическим и геохимическим особенностям породы Горнозерского массива относятся к двум сериям гранитоидов (см. рисунки 4 и 5): ТТГ (гранит-порфиры, аплиты) и санукитоидная (гранодиориты).

В апикальной части массива над полого погружающейся кровлей на участке Бергаул кислые вмещающие лопийские толщи – метаморфизованные базальты, коматииты, сланцы по туфам кислого и среднего состава (см. табл. 3, № 9–12) и углеродсодержащие сланцы интенсивно изменены. По амфиболитам и коматиито-базальтам развиваются эпидозиты и скарноиды. Многочисленные дайки гранитов и гранит-аплитов грейзенизированы. Количество тонкощучатого мусковита в них увеличивается до 5–10%, в измененных сланцах возрастает содержание Li (до 153 ppm). Изменения пород сопровождаются молибденит-полиметаллической минерализацией [13].

Металлогенический анализ территории. Рудопроявления в вулканогенно-осадочных комплексах. На исследуемой площади с разновозрастными вулканогенно-осадочными толщами связаны два типа рудопроявлений: 1 – железистые кварциты и 2 – колчеданные руды, формировавшиеся в разных обстановках. Первые развиты в северо-западной части Ондозерско-Сегозерской площади – области континентального шельфа (подобны гимольскому разрезу Костомукшской структуры), вторые – в орогенной области на северо-западной окраине Водлозерского блока (подобны лопийскому разрезу с колчеданными рудами в Койкарской структуре центральной Карелии).

Железистые кварциты. К вмещающим полосчатым толщам гимольской серии в северо-западной части Ондозерско-Сегозерской площади приурочены небольшие рудопроявления биотит-грюнерит-магнетитовых кварцитов – Воломское и Тумбареченское. Эти небольшие железорудные объекты расположены западнее рассматриваемой в статье площади. Проявление Тумбареченское представлено маломощным пластом (1,2–2,6 м) вкраплено-полосчатых железистых кварцитов. Содержание $\text{Fe}_{\text{вал}}$ в рудах составляет 30–31,2%, S – до 0,11–0,2% (по скважине С-90). Прогнозные ресурсы категории P_1 составляют 16,15 млн. т [14]. Проявление Воломское расположено в среднем течении р. Волома. Залежь протяженностью 2,3 км (магнитная аномалия до 8 км) представлена вкрапленно-полосчатыми рудами. Мощность магнетитовых рудных горизонтов составляет 15–30 м. Содержание Fe в рудах составляет 22–36%, S 0,02–0,45% (в среднем 0,35%, по С-68–75). Ресурсы – 123,2 млн. т руды, запасы – 24 млн. т со средним содержанием Fe в руде 25,4% [14].

Колчеданные руды. В южной части площади к серицитовым и углеродсодержащим сланцам приурочены колчеданные руды проявления Бергаул (см. рис. 6, вблизи западного контакта с Горнозерским гранитным массивом). Руды сложены пирротином, в них присутствуют халькопирит, пирит, при окислении пирротин замещается марказитом. Серно-колчеданные залежи содержат Ni 825–930 ppm, Co 258–292 ppm, Cu 0,14–0,22% (табл. 4, № 1–3). В сланцах по туфогенно-осадочной толще (кислого-среднего состава) концентрации рудогенных элементов невысокие (фоновые, см. табл. 4, № 4–6). Незначительные их изменения сопровождаются сульфидной вкрапленностью (3–7%) с повышением концентрации Li, Pb, Zn (см. табл. 4, № 7–10). На колчеданные руды и вмещающие сланцы накладываются и более интенсивные изменения (грейзенизация, серицитизация), сопровождающие внедрение гранитов массива, в связи с этим все породы и колчеданы могут быть обогащены Mo и полиметаллами (см. табл. 4, № 11–13). В колчеданных рудах и вмещающих их сланцах с сульфидной вкрапленностью содержание Au составляет 0,008–0,22 г/т и не превышает 0,4 г/т (см. табл. 4, № 1–13 и табл. 5). Для колчеданного рудопроявления запасы составляют 1,46 тыс. т, при среднем содержании серы 10,6% (до 28,5%) ресурсы полиметаллов (Zn, Cu, Pb) и Mo не оценивались [14].

Рудопроявления, связанные с интрузивным магматизмом. С интрузивным магматизмом Ондозерско-Сегозерской площади, представленной умеренно-щелочным дифференцированным и порфиоровидным гранитоидным комплексами, связаны два типа рудопроявлений. К пироксенит-сиенитовым массивам приурочены Ba-Sr-P3Э-P-Ti-проявления с повышенными концентрациями благородных металлов, а к гранитоидным массивам – Mo-полиметаллические.

4. Содержание рудогенных элементов в колчеданных рудах, вмещающих толщах, гранитах и измененных породах участка Бергаул (в ppm)

№ п/п	№ обр.	Cr	Li	Co	Ni	Cu	Zn	Se	Mo	Te	Pb	Bi	Ag	Au	Pd
1	K-6/2	Ho	0,45	258	840	2125	0,1	29	2,5	1,3	3,4	0,18			
2	K-5/3	Ho	0,25	292	929	1402	6	44	4,3	0,9	17	0,39			
3	K-6/2Б	4	0,6	262	825	2212	8,5	12	2,3	0,85	3,1	0,25	1,52	0,05	0,05
4	1156/7	124	120	2	9	31	77	31	8	8,3	29	0,9	0,19	0,13	0,41
5	1156/7a	274	117	3	11	26	75	26	7	7,5	31	0,8	0,51	0,15	0,26
6	K-5/1Б	465	68	16,3	33	165	27	Ho	6,7	Ho	54	4	0,72	0,22	0,3
7	1156/8	255	1,1	3,2	49	8	6,7	Ho	5,5	1,03	41	0,6	Ho	0,14	0,14
8	K-2/1	175	54	10	35	68	19	6,7	1,6	0,3	44	1,3			
9	1156/4	68	35	3,7	33,7	12	66	0,1	17,5	Ho	40	1,6	0,30	0,14	0,39
10	1156/6	235	78	1,8	16	37	63	Ho	14	0,1	9,4	0,4	Ho	0,13	0,29
11	1156/1	52	93	52	238	222	19	3	676	Ho	23	1,8	1,1	0,15	0,39
12	1156/2	134	74	3	15	107	32	1,8	495	0,1	134	4,1	1,7	0,12	0,51
13	1156	23	37	5,2	23,5	41	24	Ho	950	0,85	21,3	0,4			
14	1156/3	76	41	37,3	127	179	74	15	882	22,4	15267	594	214,5	0,23	2,41
15	K-1/2	72	1,2	2,2	43	22	2,4	69,8	46,5	66,1	46885	747			
16	K-4/1	66	3,5	57,3	205	186	596	11,2	6,3	4,8	3347	46,1			
17	K-4/1a	52	2	16,6	36	54	Ho	3,9	11	0,7	299	8,3			
18	1156/5	35	37	2,8	17	8	77	Ho	2	0,16	9,05	0,19			
19	1152/3	208	5	19	261	15	103	Ho	1244	0,16	18,63	5,67	0,42	0,08	0,46
20	1152/4	893	15	30	241	9	151	Ho	150,4	Ho	13,37	6,31	0,19	0,07	0,23
21	1152/5	421	5	23	148	7,4	104	Ho	969,5	Ho	32,31	6,71	0,18	0,08	0,36
22	1152/6	1201	2	15,5	191	415	247	Ho	216	1,5	527	107			
23	K-6/3	809	2,8	46,3	181	94	176	Ho	7,8	0,8	119	5,1			

Примечание. 1–3 – колчеданы; 4–6 – серицит-углерод-содержащие сланцы; 7–10 – серицитовые сланцы с бедной сульфидной вкрапленностью; 11–13 – халькопирит-молибденитовая и 14 – молибденит-галенитовая минерализация в грейзенизированных сланцах; 15 – висмут-галенит-кварцевая жила; 16 – пирротин-сфалерит-галенитовая минерализация; 17 – риодацит с сульфидными на контакте с кварцевой жилой; 18 – гранит-аплит; 19–21 – скарноиды с молибденитом; 22–23 – скарноиды с вкрапленностью сульфидов (галенита, сфалерита, молибденита, пирротина); пустая клетка – элемент не определялся, Ho – ниже предела обнаружения.

Ba-Sr-P3Э-P-Ti оруденение представлено рудопроявлениями (Шалговаара, Панозерским). В амфиболизированных пироксенитах – породах 1-й фазы массива Шаравалампи установлены небогатые апатит-магнетит-титанитовые руды с ЭПГ. Содержание составляет (в %): P_2O_5 1,27–2,5, TiO_2 1,94–2,28, $\Sigma(FeO+Fe_2O_3)=18–20,7$, а V 270–417 ppm [4, 5, 18]. Рудная минерализация представлена магнетитом, ильменитом, титанитом (20%), F-апатитом, сульфидами (1–4%). В диоритах и сиенитах 2-й фазы магнетит, титанит и апатит являются аксессуарными. Оруденение оценивается как редкоземельно-редкометалльное с $\Sigma P3Э$ 1250–1460 ppm, Sr 1040–2234 ppm, Ba достигает 1970–2380 ppm. Концентраторами P3Э являются титанит, который содержит $\Sigma P3Э$ до 4,5%, апатит, алланит ($\Sigma P3Э$ 18,5%), Се-эпидот (Se_2O_3 7,3–8,6%), часто образующие зональные зерна, а также более поздние низкотемпературные F-карбонаты (паризит-бастнезитового ряда). Накопление Ba и Sr происходит в K-полевых шпатах более кислых дифференциатов пород (BaO 0,09–1,16%) и в K-щелочных метасоматитах по породам 1-й фазы.

K-полевой шпат содержит BaO до 3%. В поздних процессах изменения сиенитов Ba и Sr концентрируются обычно в барите, целестобарите (BaO до 64,62 и SrO до 9,61%), целестине (BaO 10,11 и SrO 45,7%).

Благороднометалльная Au-Pt-Cu-S вкрапленная минерализация (1–4%) установлена в пироксенитах и их измененных ксенолитах в сиенитах с суммой ЭПГ до 0,5 г/т [5]. Пироксениты с сульфидной вкрапленностью содержат Cu до 0,4–1% и (в ppm): Ni 523, Co 88, Cr 704, Pb 138, Zn 153, Bi 11, Ag 4,5–15,7. Содержание благородных металлов в них составляет (в г/т): Pt 0,015, Pd 0,025, Rh 0,001 и Ru 0,26 г/т ($\Sigma ЭПГ=0,301$), Au 0,162 г/т, Ag 3 г/т. Рудная минерализация представлена халькопиритом, борнитом, реже встречаются пирротин, галенит, самородные Te и Bi. Минералы платиновой группы представлены теллуридами – кейтконнитом (Pd,Pt,Cu), Te и мончеитом $PtTe_2$. Золото (с содержанием Ag до 35,28%) тяготеет к зонам изменения в пироксенитах, содержащих халькопирит, борнит. В сростании с халькопиритом и галенитом встречаются цумоит ($BiTe$), серебро, единичные зерна клаусталита, сфалерита, гринокита.

5. Содержание благородных металлов в минерализованных породах и рудах рудопроявления Бергаул, южная часть Ондозерско-Сегозерской площади (в г/т)

Порода, руда, рудная вкрапленность	Au	Ag	Вид анализа
Колчеданные руды	0,008–0,014		АА
Колчеданные руды (образец К-3/1)	0,1	0,726	ПР
Колчеданные руды (КГЭ)	0,02–0,4	2–10	ПР
Пирит-кварцевая жила	0,011–0,04		АА
Кварцевые прожилки с пиритом в измененных риодацитах и углеродистых сланцах (обр. 5002/1)	0,006–0,014 0,02–0,092	1,96	АА
Сланцы по риодацитам с сульфидами 3–7% (5010/1; 1156; 1156/6)	0,06–0,1 0,081–0,105	0,404–3,04	АА
Cu-Zn-Pb прожилковое оруденение в серицитизированных риодацитах (5010/7; 1151/1)	0,56 0,082–0,134	0,6 0,35–18,54	АА
Скарноиды с молибденитом (К-6/3; 1152/4; 1152/6)	0,064–0,098	0,16–5,94	АА
Кварцевая жила с галенитом (К-1/2)	0,12	354,45	ПР
Измененные гранит-аплиты, сульфидов до 5–10%	0,06	0,06	АА

Примечание. Данные Л.В.Кулешевич и Карельской ГЭ (КГЭ); АА – атомно-абсорбционный анализ (выполнен в ИГ КарНЦ РАН), ПР – пробирный (в ФГУП ЦНИГРИ).

Полиметаллические и молибденовые проявления. Вторую группу рудных объектов на Ондозерско-Сегозерской площади представляют небольшие Pb-Cu-Zn-Mo-рудопроявления, встречающиеся как в северной, так и в южной частях площади, связанные с порфиоровидными гранитами. В северной части площади установлена серия небольших рудных объектов – проявления Воломское, Лебедевогорское, Тухкозеро, Лазаревское и другие пункты минерализации, в южной части – проявление Бергаул.

На участке Воломском (в пределах железорудного проявления) в ореоле небольшого гранитного тела, прорывающего сурлампинскую свиту, установлена молибденитовая минерализация. При среднем содержании Мо 0,01% (по скважинам С-59, С-60, 66) прогнозные ресурсы до глубины 100 м были оценены в 30 тыс. т Ag-содержащее полиметаллическое проявление Лебедевогорское находится в северной части массива Лебедева Гора катаклазированных порфиоровидных плагиомикроклиновых гранитов. Кварцевый штокверк образован системой субмеридиональных и северо-восточных жил. Гнездово-вкрапленная минерализация в зальбандах жил представлена пиритом, халькопиритом, борнитом, галенитом, сфалеритом, висмутом и минералами серебра. Галенит выделяется в крупных гнездах в кварцевых жилах, с ними связаны повышенные содержания Bi, Ag. Содержание в зонах вкрапленно-прожилковой минерализации (в %): Cu достигает 1 (среднее 0,1), Pb от 0,1 до 3,5–9,34 (в среднем 1), Zn 0,1–1 (среднее 0,2), Bi до 0,005–0,06 (среднее 0,01), Co 0,02, Mo до 0,001, а Ag 1–40 и Au до 0,5–1 г/т. В галенит-кварцевых жилах содержание Ag достигает 200–400 г/т (среднее 20 г/т). По результатам геолого-разведочных работ В.А.Ганина (1983) прогнозные

ресурсы Cu рудопроявления оценены в 4,5 тыс. т, Pb 40,5 тыс. т, Zn 4 тыс. т, Bi 405 т, Ag 81 т.

Молибден-полиметаллическое проявление Тухкозеро приурочено к северной части Устьволомского гранитного массива. Изменения гранитов сопровождаются их серицитизацией: по плагиоклазу и по сланцеватости развивается тонкочешуйчатый серицит, эпидот, наблюдается вкрапленность молибденита, халькопирита и галенита. Концентрация полиметаллов составляет (в %): Pb 0,005–0,5 (среднее 0,5), Zn 0,1–0,2 (среднее 0,1), Bi до 0,02, а Ag 15–20 г/т. По В.А.Ганину [14] ресурсы свинца категории P₁ оценены в 90 тыс. т, цинка – в 18,7 тыс. т. Полиметаллическая минерализация с молибденитом наложена в том числе и на Шаравалампинский умереннощелочной массив.

На участке Лазаревском с небольшим телом гранитов, прорывающим вмещающие сланцы, связаны аномальные концентрации Cu, Zn, Pb, Mo и шлиховые ореолы золота, что позволяет рассматривать его как перспективный для поисков проявлений этих металлов.

С Гормозерским гранитным массивом южной части Ондозерско-Сегозерской площади связана вкрапленно-прожилковая Pb-Zn-Cu-Mo-минерализация рудопроявления Бергаул, выявленная в его западном ореоле в измененных вмещающих толщах и дайках гранит-аплитов. К этому же типу относятся небольшие проявления Гемми-Лампи, Сельги (Mo 0,23%) [14]. Оруденение проявления Бергаул сопровождается грейзенизацией вмещающих пород и гранитов и скарнированием коматиито-базальтов. Наиболее интенсивно грейзенизация проявилась в кислой пачке (метаморфизованных туфах риодацитов) и прорывающих их дайках аплитов, накладывается на углеродсодержащие сланцы. Область штокверка (100×200 м) и измененных пород над

погружающейся кровлей гранитного массива вытянута в широтном направлении. В грейзенизированных вмещающих сланцах, обогащенных кварцем, серицитом, турмалином (до 5–10%), увеличивается концентрация K_2O до 4,41% и редких щелочей – Li_2O до 0,017 и Rb_2O до 0,019% (см. табл. 3). В измененных гранит-аплитах развиваются альбит, кварц, мелкочешуйчатый серицит, пирротиновая и молибденитовая минерализация. Условия образования грейзенов оцениваются в 400–460°C [11]. В юго-восточной части участка Бергаул по коматитам и амфиболитам развиваются скарноиды, они содержат эпидот, гранат, кальцит, актинолит. На скарноиды наложены хлоритовые изменения и хлорит-эпидот-кварцевые прожилки, гнезда и вкрапленность молибденита.

Молибденит установлен в грейзенизированных гранит-аплитах, сланцах по риодацитам и скарноидам в кварцевых (или эпидот-кварцевых) прожилках и зонках рассланцевания северо-западного, северо-восточного и субширотного простирания; встречается, в том числе и в порфировидных гранитах центральной части массива. Он образует чешуйки (0,1–0,5 см) и гнезда размером до 2 см в ассоциации с кварцем, серицитом или хлоритом. При снижении температуры он сменяется сульфидами полиметаллов. Полиметаллическая (Pb-Zn-Cu) ассоциация прожилково-вкрапленных руд представлена пирротинном, халькопиритом, галенитом, сфалеритом, встречаются пирит, реже самородный висмут и серебро, в зоне окисления образуются охры ферримоллибдита. С крупнокристаллическим галенитом кварцевых жил ассоциируют самородные висмут и серебро. По данным ICP-MS-анализа (см. табл. 4), содержание в грейзенизированных породах (в ppm): Mo от 14 до 1000, Te 0,1–66, Zn 19–596, Au 0,12–0,15, Ag от 0,3–17 до 215–355 ppm, Bi от 0,4–4 до 594–747 ppm (его максимальные концентрации установлены в галенит-кварцевых жилах) и Pb до 1,5–4,7%. Содержание Au достигает 0,56% (см. таблицы 4, 5). В скарноидах содержание составляет (в ppm): Mo 216–1244, Pb 13–527, Bi 5–107, Te 0,16–1,5, Zn 103–247, Ag 0,18–6, Au 0,04–0,12.

По данным опробования канав и горных выработок, проведенных еще в 1950-х годах (по М.Е.Зильбер, 1954; З.Т.Громовой, 1956) [14], были выделены два рудных тела. В рудном штокверке установлено содержание (в %): Mo 0,01–0,5, при максимальной концентрации 1,9, Zn 0,22, Pb 1, Cu 0,068–0,32, а Ag до 100–320 г/т, Bi до 1 г/т. Очевидно, что оруденение проявления Бергаул можно рассматривать как Bi-Ag-содержащее Pb-Zn-Cu-Mo.

Таким образом, благодаря исследованиям последних лет установлено, что вмещающие толщи Ондозерско-Сегозерской площади, развитые в северной и северо-западной ее частях, сопоставляются с верхнеархейскими отложениями контоксской и гимольской серий, а возраст секущих их интрузивных тел не древнее 2,74 млрд. лет. С терригенным флишевым разрезом

связаны небольшие проявления железистых кварцитов. Южная часть площади сопоставляется с более древними отложениями Ведлозерско-Сегозерского зеленокаменного пояса. С кислым вулканизмом бергаульской свиты в обрамлении Водлозерского блока связаны колчеданные руды гидротермального генезиса.

Интрузивный магматизм Ондозерско-Сегозерской площади представлен умереннощелочным дифференцированным от пироксенитов до монцонитов и сиенитов и порфировидным гранитоидным комплексами, близкими им по времени формирования (~2,74 млрд. лет). В северной части Ондозерско-Сегозерской площади сложнодифференцированные умереннощелочные массивы пироксенит-сиенитового или пироксенит-монцонитового состава выделяются высокими содержаниями как когерентных (Cr, Ni, Co, V), так и некогерентных элементов (P3Э, Ba, Sr). Предполагается, что формирование этих интрузий происходило в условиях транстенционного режима и поступления расплава из глубинного обогащенного источника [5]. Для них характерна Ba-Sr-P3Э-P-Ti минерализация, ультраосновных дифференциатов – (Au-Pt)-Cu-S. С дифференцированным умереннощелочным Сяргозерским комплексом (массивами Шаравалампи и Паназерским) связаны проявления Шалговаара и Панозерское. Формирование апатит-титанитового оруденения сопровождалось амфиболизацией и более поздними наложенными изменениями габбро-пироксенитов при внедрении в них сиенитов, с образованием алланита, Ba-Sr и Cu минерализации.

Все рассмотренные Мо-полиметаллические объекты Ондозерско-Сегозерской площади связаны с известково-щелочными порфировидными гранитами. Их можно отнести к Pb-Zn-Cu-Mo-порфировым (с разным соотношением Mo, Pb, Zn, Cu, Ag, Bi и невысоким содержанием Au). Молибденит замещается галенитом. Роль Bi, Ag и Au возрастает на поздних стадиях гидротермального процесса, о чем свидетельствует их приуроченность к полиметаллической части руд. На всех рассматриваемых проявлениях (Лебедевогорское, Лазаревское, Тухозеро, Бергаул) Pb-Zn-Cu-Mo-минерализация установлена в экзо- или эндоконтактовом ореоле массивов порфировидных гранитов и связана с процессами грейзенизации (серицитизации) или скарнирования, завершающими образование гранит-порфиров, малых гранитных тел и даек, и накладывается на них. Полиметаллические ассоциации выделяются повышенными содержаниями Ag, Bi, благодаря присутствию их в самородном виде или теллуридов. Оруденение можно рассматривать как Bi-Ag-содержащее Pb-Zn-Cu-Mo. Наличие на изучаемой площади многочисленных небольших проявлений делает ее перспективной для выявления более значимых рудных объектов.

Комплексный анализ изучаемой Ондозерско-Сегозерской площади (геологическое строение, состав и геохимия пород, металлогеническая специализация

массивов) позволяет рассматривать северную часть площади как область, формировавшуюся при подъеме астеносферы (с начавшимся растяжением земной коры), тогда как формирование массивов южной группы происходило на окраине Водлозерского блока, в условиях более мощной земной коры [5].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Архейские террейны: их геологическое и изотопно-геохимическое обоснование* / С.Б.Лобач-Жученко, В.П.Чекулаев, Н.А.Арестова и др. // Геотектоника. 2000. № 6. С. 26–42.
2. *Геология и петрология архейского высококалиевого и высокомагнезиального Панозерского массива Центральной Карелии* / С.Б.Лобач-Жученко, Х.Роллинсон, В.П.Чекулаев и др. // Петрология. 2007. Т. 15. № 5. С. 493–523.
3. *Граниты Южной Карелии* / Г.О.Глебова-Кульбах, С.Б.Лобач-Жученко, Н.И.Пинаева, К.Д.Борисова // Граниты Кольского п-ва и Карелии. Труды ЛАГЕД. – Л., 1963. Вып. 15. С. 161–334.
4. *Дмитриева А.В.* Геохимия и рудная минерализация Сяргозерского умереннощелочного комплекса (Центральная Карелия) // Ученые записки ПетрГУ. 2013. № 6. С. 45–51.
5. *Дмитриева А.В.* Металлогеническая специализация неархейского умереннощелочного магматизма Центральной Карелии // Автореф. дис. ... канд. геол.-минер. наук. – СПб., 2017.
6. *Егорова Ю.С.* Санукитоиды Фенно-Карельской провинции Балтийского щита: геология, состав, источники / Автореф. дис. ... канд. геол.-минер. наук. – СПб.: ИГГД РАН, 2014.
7. *Иванников В.В.* Архейские сиениты и монцониты Карелии // Вестник СПбГУ. Сер. 7. Вып. 1. № 7. 1997а. С. 11–21.
8. *Иванников В.В.* Архейские сиениты и монцониты Карелии // Вестник СПбГУ. 1997б. Сер. 7. Вып. 4. № 28. С. 3–15.
9. *Изотопная геохронология посттектонической ассоциации санукитоидов, сиенитов и гранитоидов в архее Центральной Карелии* / Е.В.Бибикова, Н.А.Арестова, В.В.Иванников и др. // Петрология. 2006. № 1. С. 44–55.
10. *Коваленко А.В.* Граниты окраины древнего Водлозерского блока: геология, геохимия, петрология // Автореф. дис. ... канд. геол.-минер. наук. – СПб., 2000.
11. *Корреляция архейских событий Водлозерского домена в свете новых геологических и изотопных данных* / Н.А.Арестова, В.П.Чекулаев, С.Б.Лобач-Жученко и др. // Современные проблемы магматизма и метаморфизма: мат-лы всерос. конференции, посвященной 150-летию акад. Ф.Ю.Левинсона-Лессинга и 100-летию проф. Г.М.Саранчиной. – СПб., 2012. Т. 1. С. 46–49.
12. *Лобач-Жученко С.Б., Левченко О.А.* Новые данные по геохронологии Карелии // Изотопные методы и проблемы геологии докембрия Карелии: сборник статей. – Петрозаводск, 1985. С. 5–26.
13. *Метасоматиты и оруденение месторождения Бергаул* / Л.В.Кулешевич, В.И.Иващенко, О.Б.Лавров, Н.Н.Коротаева // Геология и полезные ископаемые Карелии. – Петрозаводск. № 2. 2000. С. 60–68.
14. *Минерально-сырьевая база Республики Карелия*. Кн. 1. – Петрозаводск: Карелия, 2005.
15. *Ранний докембрий Балтийского щита*. – СПб.: Наука, 2005.
16. *Светов С.А.* Магматические системы зоны перехода океан–континент в архее восточной части Фенноскандинавского щита. – Петрозаводск, 2005.
17. *Состав, возраст и Sm-Nd систематика архейских высокомагнезиальных гранитоидов (санукитоидов) массива Панозеро, Карелия* / В.П.Чекулаев, О.А.Левченко, В.В.Иванников и др. // Геохимия. 2003. № 8. С. 817–828.
18. *Субщелочной магматизм района Сяргозера* / В.Д.Слюсарев, Л.В.Кулешевич, Г.М.Павлов и др. // Геология и полезные ископаемые Карелии. Вып. 3. – Петрозаводск, 2001. С. 66–86.
19. *U-Pb геохронология магматических пород Ондозерского блока* / Е.В.Бибикова, Т.В.Грачева, В.А.Макарова, В.В.Щипцов // Магматизм, метаморфизм и геохронология Восточно-Европейской платформы в связи с крупномасштабным картированием: тезисы докладов IV регионального петрографического совещания по Европейской части СССР. – Петрозаводск, 1987. С. 162–163.
20. *Чекулаев В.П.* Архейские «санукитоиды» на Балтийском щите Доклады АН. 1999. Т. 368. № 5. С. 676–678.
21. *Щипцов В.В., Кожевников В.Н., Скорнякова Н.И.* Гранитоиды архея юго-восточной части Балтийского щита. – Л.: Наука, 1987.
22. *Bibikova E.V., Petrova A., Claesson S.* The temporal evolution of the sanukitoids in the Karelian Craton, Baltic Shield: an ion microprobe U-Th-Pb isotopic study of zircons // Lithos. 2005. Vol. 79. P. 129–145.
23. *The Archaean sanukitoid series of the Baltic Shield: geological setting, geochemical characteristics and implications for their origin* / S.B.Lobach-Zhuchenko, H.R.Rollinson, V.P.Chekulaev et al. // Lithos. 2005. Vol. 79. P. 107–128.

Особенности распределения редкоземельных элементов в рудах молибденовых месторождений Восточного Забайкалья

Б.Н.АБРАМОВ (Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН; 672014, г. Чита, ул. Недорезова, 16 а, а/я 521)

Выявлено, что по соотношениям редких и редкоземельных элементов (РЗЭ) в одинаковых по составу рудах молибденовых месторождений Восточного Забайкалья имеются существенные отличия. Установлено, что рудоносные магматические очаги Шахтаминского, Бугдаинского, Жирекенского и Давендинского молибденовых месторождений были в разной степени дифференцированы и функционировали на различных глубинах. Так, образование кварц-молибденитовых руд Бугдаинского месторождения происходило из двух магматических очагов. Нижний магматический очаг функционировал в нижней континентальной коре (Eu/Sm 0,27–30; Rb/Sr 2,06–4,0), был не дифференцированным (Eu/Eu^* 1,02–1,21). Верхний магматический очаг функционировал в верхней континентальной коре (Eu/Sm 0,18–0,20; Rb/Sr 4,38–6,36), был дифференцированным (Eu/Eu^* 0,73–0,74). Изучение распределения РЗЭ выявило наличие в магматических очагах всех рассматриваемых молибденовых месторождений тетрад-эффектов (ТЭФ) М- и W-типов, указывающих на обогащенность рудоносных флюидов летучими компонентами.

Ключевые слова: молибденовые месторождения Восточного Забайкалья, распределение редкоземельных элементов, магматические очаги, тетрад-эффекты в спектрах лантаноидов.

Абрамов Баир Намжилович



b_abramov@mail.ru

Peculiarities of rare earth elements distribution in molybdenum ore deposits of Eastern Transbaikalia

B.N.ABRAMOV (Federal state budgetary institution of science Institute of natural resources, ecology and Cryology SB RAS)

It is revealed that the ratios of rare earth elements (REE) in the same composition of molybdenite deposits ores, Eastern Transbaikalia, are quite different. It is established that ore-magmatic foci of Satamasho, Bugdainsky, and Dondinho Zhireken molybdenum deposits were in different degrees of differentiation and functioned at various depths. Thus, the formation of quartz-molybdenite ores of Bugdainsky deposit came from two magmatic centres. Lower magmatic centre was functioning in the lower continental crust (Eu/Sm 0,27–30; Rb/Sr 2,06–4,0), it was not differentiated (Eu/Eu^* 1,02–1,21). Upper magmatic centre was functioning in the upper continental crust (Eu/Sm 0,18–0,20; Rb/Sr 4,38–6,36), it was differentiated (Eu/Eu^* 0,73–0,74). Calculation of tetrad effects (TEF) in the spectra of REE showed the presence of M and W types TEF in the magma pockets of all the considered transmitted molybdenum deposits, pointing to their ore-bearing fluids enrichment with volatile components.

The study of REE distribution revealed the presence in the magma pockets all these molybdenum deposits tetrad effects (TEF) M and W types, indicating the enrichment of ore-bearing fluids by volatile components.

Key words: molybdenum deposit, Eastern Transbaikalia, distribution of rare earth elements, magmatic centers, tetrad effects in the spectra of the lanthanides.

Редкоземельные элементы рассматриваются как геохимические индикаторы геологических, в том числе магматических процессов. Изучение распределения РЗЭ, их соотношений позволяет судить о степени дифференциации магматических очагов, глубинах их функционирования, условиях и источниках образования оруденения. По составу РЗЭ можно определить наличие в

рудоносных магматических очагах газовой-жидких составляющих. Важная часть познания процессов рудообразования – изучение тетрад-эффектов в спектрах распределения лантаноидов. Они образуются в случае возникновения комплексных соединений РЗЭ [14]. Выявлено, что тетрад-эффекты в спектрах лантаноидов образуются во флюидах, обогащенных летучими

компонентами. Наличие ТЭФ в спектрах редкоземельных элементов четко прослеживается для заключительных стадий дифференциации редкометалльных интрузий [10, 13].

В Восточном Забайкалье мезозойские молибденовые месторождения с одинаковым составом руд характеризуются разными концентрациями элементов-примесей, что объясняется разными условиями их образования. Объектами исследования являются молибденовые месторождения: Шахтаминское, Бугдаинское, Жирекенское и Давендинское. Фактический материал собран в 1996–2016 гг. во время выполнения базовых научных проектов в Институте природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН.

Краткая характеристика оруденения молибденовых месторождений. Мезозойские молибденовые месторождения Восточного Забайкалья были образованы в результате коллизии Сибирского и Монголо-Китайского континентов в течение средней–поздней юры [4, 5]. Большинство из них пространственно приурочено к Монголо-Охотской сuture (рис. 1).

Молибденовые месторождения Восточного Забайкалья характеризуются длительной историей формирования. На них, как правило, выделяется несколько стадий рудообразования, отличающихся составами рудной минерализации. Образование молибденового оруденения связано с процессами формирования рудоносного порфирового комплекса гранитоидов J_{2-3} [8]. Абсолютный возраст образования молибденитов (по данным Re-Os метода) Жирекенского месторождения составляет 163 ± 1 млн. лет, Шахтаминского месторождения – 159 ± 1 млн. лет [3].

Шахтаминское месторождение. Образование молибденового оруденения связано с процессами внедрения даек и штоков порфирового комплекса J_{2-3} [12]. Формирование рудных тел месторождения происходило в два этапа. Рудные тела первого этапа представлены жилами кварц-молибденитового состава, а рудные тела второго – жилами кварц-полиметаллического состава. В рудных телах первого этапа наиболее распространенными рудными минералами являются: пирит, молибденит, реже отмечаются шеелит, халькопирит. В рудных телах второго этапа основные рудные минералы представлены галенитом, сфалеритом, менее развиты блёклые руды, бурнотит.

Бугдаинское месторождение. На месторождении выделяются две основные рудные стадии: кварц-молибденитовая и золото-полиметаллическая. Основные рудные минералы кварц-молибденитовой стадии представлены пиритом, молибденитом. К числу второстепенных относятся вольфрамит, шеелит. Основные рудные минералы золото-полиметаллической стадии – пирит, сфалерит, галенит, реже отмечаются молибденит, арсенопирит, халькопирит, блёклые руды, золото [1, 9].

Жирекенское месторождение. На месторождении выделяются вкрапленный, прожилковый и брекчиевый

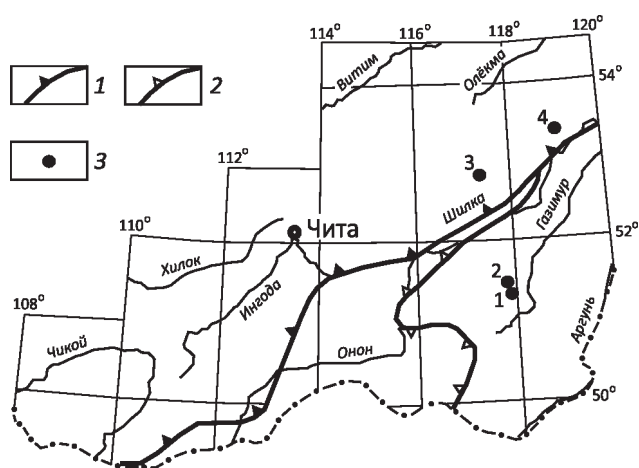


Рис. 1. Схема размещения молибденовых месторождений Восточного Забайкалья:

Монголо-Охотская сuture: 1 – Основная и 2 – Ононская ветви; 3 – молибденовые месторождения: 1 – Шахтаминское, 2 – Бугдаинское, 3 – Жирекенское, 4 – Давендинское

типы руд. Основные запасы молибдена, связанные с вкрапленным типом руд, отмечены преимущественно в центральной и южной частях месторождения. Прожилково-вкрапленные руды приурочены к флангам рудных зон. По составу они подразделяются на молибденитовые, кварц-молибденитовые с примесью пирита, халькопирита, а также мусковит-серицит-кварцевые прожилки с молибденитом, пиритом, халькопиритом, галенитом, сфалеритом. Брекчиевые типы руд распространены незначительно. В пределах брекчиевой рудной зоны отмечены ксенолиты калишпатизированных метасоматитов с вкрапленным оруденением с содержанием молибденита до 30% [6].

Давендинское месторождение. В кварц-молибденитовых жилах Давендинского месторождения основными рудными минералами являются молибденит и пирит, составляющие 95% общего количества рудных минералов. К числу второстепенных рудных минералов относятся: халькопирит, висмутин, сфалерит, галенит, магнетит. Редкие рудные минералы представлены блёклыми рудами, золотом, тетрадимитом, борнитом, касситеритом, шеелитом, пирротинном и марказитом. На месторождении выделяются следующие рудные стадии минерализации: кварц-молибденитовая, кварц-турмалиновая, кварц-золото-висмутитовая.

Особенности распределения редкоземельных элементов в рудах молибденовых месторождений. Распределение РЗЭ в однотипных по составу кварц-молибденитовых рудах разных месторождений имеет существенные отличия (рис. 2).

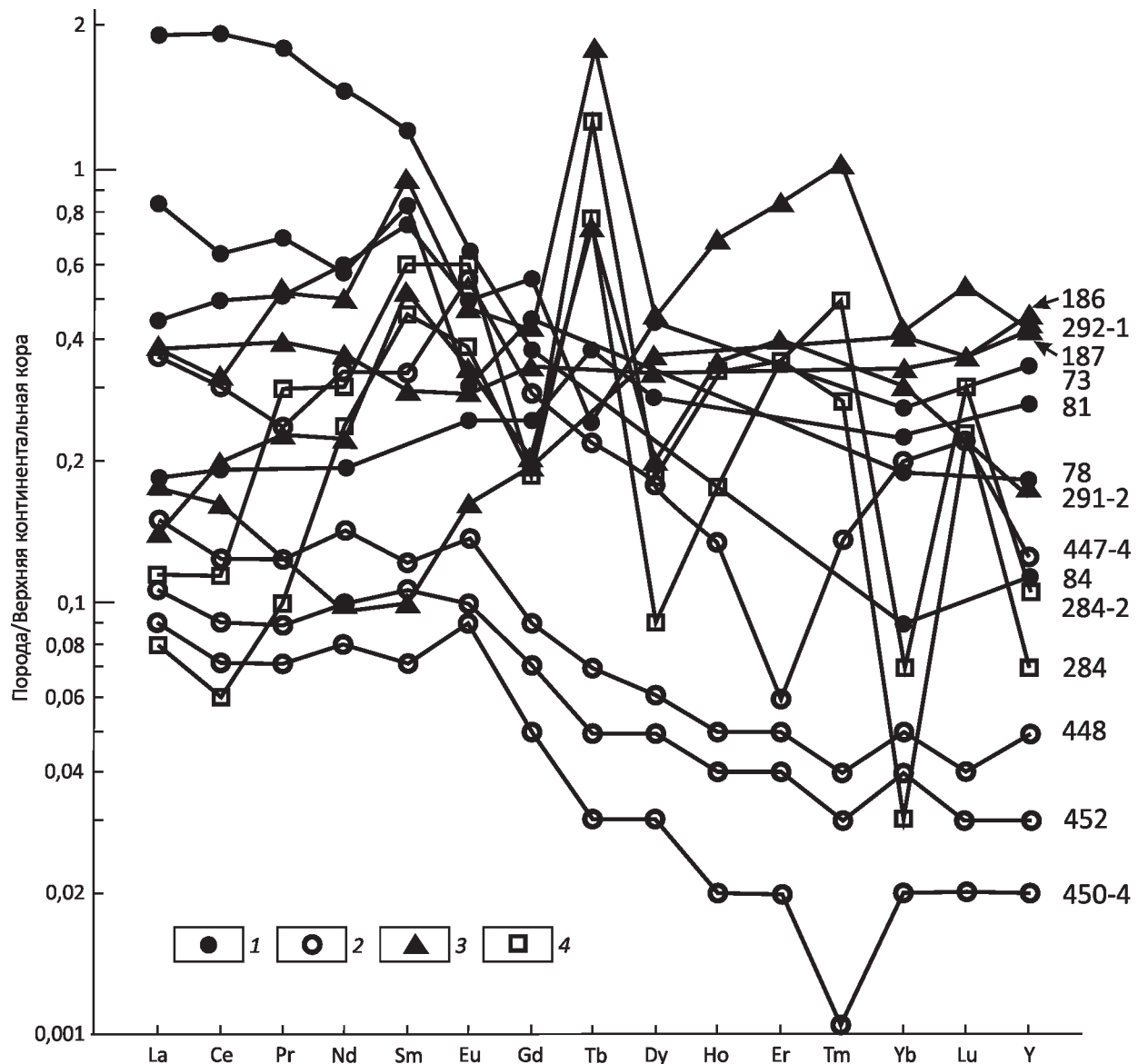


Рис. 2. Спайдер-диаграмма распределения редкоземельных элементов в кварц-молибденитовых рудах молибденовых месторождений Восточного Забайкалья (нормирование РЗЭ по верхней континентальной коре [11]):

молибденовые месторождения: 1 – Шахтаминское, 2 – Бугдаинское, 3 – Жирекенское, 4 – Давендинское

Для оценки степени дифференциации магматических очагов разных месторождений были рассчитаны Rb/Sr и Eu/Eu^* отношения в кварц-молибденитовых рудах [7]. Для оценки глубин формирования рудоносных магматических очагов использованы Eu/Sm отношения в трактовке С.Ф.Винокурова [2].

Изучение тетрад-эффектов в спектрах лантаноидов – важная часть познания процессов рудообразования. Они образуются в случае возникновения комплексных соединений РЗЭ [15]. При этом происходит нарушение плавной формы нормированного спектра лантаноидов

с образованием отдельных изгибов (тетрады). Выявлено, что ТЭФ в спектрах лантаноидов образуются при наличии во флюидах значительных концентраций летучих компонентов, а также при изменении кислотности-щелочности среды. Наличие тетрад-эффектов в спектрах редкоземельных элементов четко прослеживается для заключительных стадий дифференциации редкометалльных интрузий [10, 13].

Образование ТЭФ в спектрах редкоземельных элементов обусловлено их способностью к созданию комплексных соединений. Их формирование приводит к

Содержание редких и редкоземельных элементов в рудах молибденовых месторождений Восточного Забайкалья (в г/т)

Элементы	Номера проб															
	73	78	81	84	447-4	452	448	450-4	186	187	291-2	292-1	284	284-2		
Cu	9	86	258	6	18	23	12,1	19	363	25500	19	1,3	3,2	1,5		
Zn	21	2127	67	149	33	56	52	30	97	3900	48	22	7,7	2,1		
As	22	140	70	60	—	—	—	—	36	1171	2,1	4,7	2,2	5,6		
Pb	100	1800	60	330	495	115	71	71	88	352	12	38	12	2,8		
Bi	53	—	22	11	—	—	—	—	8	5	2,5	9,7	7,1	16,4		
Rb	7	23	2,2	3,4	96	32	42	10,9	12	17	5,7	13	5,4	7,6		
Sr	37	2,7	28	49	24	7,3	6,6	5,3	47	71	6,1	74	33	6,1		
Zr	168	166	77	76	137	26	23	10,5	82	76	—	—	—	—		
Mo	46 174	43 096	25 385	26 495	95 576	30 955	23 965	35 673	21 600	14 400	65 504	22 899	10 301	11 009		
Sn	—	2,4	—	—	18	10,8	4,13	2,96	—	8	—	16,1	—	2,1		
Sb	67	15	390	164	20	4,35	10,3	2,9	25	212	24,6	—	5,2	—		
W	—	—	100	200	1035	1060	847	894	291	267	163	365	862	3453		
La	13,3	24,6	5,4	58,6	10,7	3,37	4,64	2,98	5,2	11,8	4,06	11,3	2,55	3,45		
Ce	31,8	40,6	12,0	124,6	19	5,9	8,4	4,76	9,3	22	5,96	20,3	4,09	7,13		
Pr	3,8	4,8	<3,0	13,4	2,07	0,63	0,89	0,50	<2	2,8	1,68	3,59	0,97	2,10		
Nd	15,4	15,1	5,0	39,9	8,6	2,60	3,65	2,04	2,6	8,4	6,03	12,2	6,39	7,95		
Sm	3,4	3,7	<1,0	5,6	1,45	0,51	0,55	0,31	0,46	1,3	2,54	4,17	2,09	2,73		
Eu	0,44	0,26	0,23	0,56	0,50	0,09	0,11	0,083	0,14	0,26	0,30	0,42	0,33	0,52		
Gd	2,15	1,7	1,0	1,5	1,10	0,28	0,37	0,20	0,73	1,3	0,58	1,59	0,27	0,77		
Tb	1,5	<0,5	0,23	<0,5	0,13	0,03	0,04	0,02	<0,5	<0,5	0,43	1,09	0,43	0,80		
Dy	1,5	<1,0	1,0	<1,0	0,66	0,18	0,21	0,11	1,3	1,2	0,76	1,50	0,33	0,60		
Ho	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	0,12	0,03	0,037	0,016	<0,5	<0,5	0,28	0,53	0,14	0,26		
Er	—	—	—	—	0,37	0,09	0,12	0,05	—	—	0,83	1,84	0,80	0,77		
Tm	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	0,05	0,01	0,014	0,004	<0,3	<0,3	0,14	0,35	0,09	0,16		
Yb	0,60	0,41	0,5	0,2	0,44	0,10	0,11	0,048	0,85	0,71	0,23	0,69	0,07	0,16		
Lu	<0,15	—	<0,15	<0,15	0,068	0,01	0,013	0,005	0,11	0,11	0,06	0,16	0,07	0,09		
Y	7,1	3,4	5,5	2,5	2,62	0,61	0,92	0,35	8,2	7,9	3,57	8,83	1,42	2,24		
ΣTR	80,99	94,57	30,86	246,86	47,84	14,44	20,07	11,47	28,89	57,78	31,32	68,56	20,04	29,73		
(La/Yb) _n	15,37	41,66	7,49	204,4	16,86	23,3	29,14	43,42	4,24	11,55	12,27	11,36	25,39	14,98		
Eu/Eu*	0,50	0,32	—	0,59	1,21	0,73	0,74	1,02	0,73	0,61	0,75	0,50	1,34	1,09		
Eu/Sm	0,13	0,07	—	0,10	0,34	0,18	0,20	0,27	0,86	0,20	0,12	0,10	0,16	0,19		
Rb/Sr	0,19	8,52	0,08	0,07	4,00	4,38	6,36	2,06	0,25	0,24	0,93	0,18	0,16	1,24		
TE ₁	1,05	1,0	1,33	1,33	0,90	0,89	0,91	0,67	—	1,08	0,88	1,0	0,68	1,0		
TE ₃	0,62	—	0,50	0,41	0,89	0,91	0,91	0,82	—	—	1,59	1,54	2,16	1,74		
TE ₄	0,38	—	0,35	0,36	0,93	—	0,97	—	—	—	0,80	0,88	0,32	0,58		
TE ₁₋₄	0,63	—	0,61	0,54	0,96	—	0,93	—	—	—	1,04	1,07	0,78	1,00		

Примечание. Рудные и редкие элементы определены в Геологическом институте СО РАН (г. Улан-Удэ) методом РФА (аналитик Б.Ж.Жалсаев), редкоземельные элементы – методом ISP-AES (аналитики Л.А.Левантуева, Т.И.Казанцева); пробы Бугдинского месторождения проанализированы ISP MS методом в Институте геохимии СО РАН (г. Иркутск); пробы месторождений: Шахтинское – 73, 78, 81, 84; Бугдинское – 447-4, 452, 448, 450-4; Жиренское – 186, 187, 291-2, 292-1; Давендинское – 284, 284-2; прочерк – нет данных; $Eu/Eu^* = Eu_N / [Sm_N \times Gd_N]^{1/2}$ [7].

нарушению формы нормированных соединений с разделением на четыре группы (тетрады): La-Nd, Sm-Gd, Gd-Ho и Er-Lu [10, 13]. Величина ТЭФ рассчитывается по отклонению концентраций середины тетрады относительно краевых значений.

$$TE_i = \sqrt{X_2/X_1^{2/3} X_4^{1/3} \times X_3/X_1^{1/3} X_4^{2/3}} [10, 13].$$

Тетрад-эффекты рассчитываются для первой, третьей и четвертой тетрад. Значения РЗЭ нормированы к хондриту. Суммарное их значение рассчитывается по формуле

$$TE_{1-4} = \sqrt[3]{TE_1 TE_3 TE_4} [10, 13].$$

ТЭФ принимаются значимыми, если $TE_1 > 1,1$ (М-тип), $TE_1 < 0,9$ (W-тип) [10]. Установлено, что появление ТЭФ в спектрах лантаноидов редкометалльных гранитов является следствием процессов фторидно-силикатной жидкостной несмесимости в магме [13]. Тетрад-эффект М-типа характерен для редкометалльных гранитоидных пород и связан с особенностями перераспределения РЗЭ между фторидными и силикатными расплавами, а также обогащенными F и Cl магматическими флюидами [10, 13]. Тетрад-эффекты W-типа в спектрах лантаноидов образуются при взаимодействии природных вод с гидроксидами железа и оксидами марганца [15, 16].

Анализ распределения РЗЭ Шахтаминского месторождения показывает, что молибденовые руды были образованы из значительной степени дифференцированных магматических очагов (Rb/Sr 0,07–8,52; Eu/Eu* 0,32–0,59), которые функционировали в верхней континентальной коре (Eu/Sm 0,07–0,13). Концентрации Σ РЗЭ в кварц-молибденовых жилах колеблются от 30,86 до 246,86 г/т. При этом они характеризуются разными концентрациями тяжелых РЗЭ $[(La/Yb)_n]$ от 7,49 до 204,4 [см. таблицу и рис. 2].

Распределение РЗЭ в кварц-молибденитовых жилах Бугдаинского месторождения указывает на то, что молибденитовые руды были образованы из двух в разной степени дифференцированных разноглубинных магматических источников. Для руд характерно наличие ТЭФ W-типа. Магматический источник, образованный в верхней континентальной коре (Eu/Sm 0,18–0,20), был более дифференцированным (Rb/Sr 4,38–6,36; Eu/Eu* 0,73–0,74). Второй магматический источник был менее дифференцированным и функционировал в нижней континентальной коре (Eu/Sm 0,27–0,34; Rb/Sr 2,06–4,00; Eu/Eu* 1,02–1,21) (см. таблицу и рис. 2).

Магматические очаги кварц-молибденитовых руд Жирекенского месторождения характеризуются близкими значениями отношений типоморфных элементов, указывающих на одинаковые условия их образования $[Eu/Eu^* 0,50–0,73; (La/Yb)_n 4,24–12,27]$. Они функци-

онировали как в верхней, так и нижней континентальной коре (Eu/Sm 0,10–0,86) (см. таблицу).

Анализ распределения РЗЭ Давендинского месторождения свидетельствует о том, что рудоносные магматические очаги были слабо дифференцированными (Rb/Sr 0,16–0,24; Eu/Eu* 1,09–1,34) и располагались в верхней континентальной коре (Eu/Sm 0,16–0,19) (см. таблицу и рис. 2).

Кварц-молибденитовые руды молибденовых месторождений Восточного Забайкалья характеризуются наличием тетрад-эффектов М- и W-типов. Это указывает на обогащенность рудоносных флюидов летучими компонентами.

В заключение отметим, что различные типы руд мезозойских молибденовых месторождений Восточного Забайкалья были образованы из разноглубинных и в различной степени дифференцированных магматических очагов. Наибольшей степенью дифференциации характеризовались магматические очаги кварц-молибденитовых руд Шахтаминского месторождения (Eu/Eu* 0,29–0,32), наименьшей степенью дифференциации отличались магматические очаги кварц-молибденитовых руд Давендинского месторождения (Eu/Eu* 1,09–1,34). Кварц-молибденитовые руды Бугдаинского месторождения образованы из двух разноглубинных и в различной степени дифференцированных магматических очагов. Наиболее глубинный недифференцированный очаг функционировал в нижней континентальной коре (Eu/Sm 0,27–0,34; Eu/Eu* 1,09–1,34). Второй более дифференцированный магматический очаг приурочен к верхней континентальной коре (Eu/Sm 0,18–0,20; Eu/Eu* 0,73–0,74). Магматические очаги кварц-молибденитовых жил Жирекенского месторождения характеризуются близкими значениями степени дифференциации и разными глубинами образования (Eu/Sm 0,10–0,86; Eu/Eu* 0,50–0,75). Во всех рассматриваемых молибденовых месторождениях отмечаются ТЭФ спектров лантаноидов М- и W-типов. При этом ТЭФ М-типа характерны для Шахтаминского месторождения, ТЭФ М-типа – для Бугдаинского, Жирекенского и Давендинского месторождений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Абрамов Б.Н.* Особенности распределения редкоземельных элементов в породах и рудах Бугдаинского молибденового месторождения // *Успехи современного естествознания*. 2015. № 1. С. 1303–1307.
2. *Винокуров С.Ф.* Европиевые аномалии в рудных месторождениях и их геохимическое значение // *Доклады академии наук*. 1996. Т. 346. С. 792–795.
3. *Высокопродуктивные этапы базитового и гранитоидного магматизма Северной Азии, оценка их ресурсного потенциала, научное обоснование критериев прогноза и поисков крупных месторождений (Cu-Ni-Pt, Co, Au и редкие металлы) / А.С.Борисенко, А.М.Спиридонов,*

- А.Э.Изох и др. // Проблемы минерагении России. – М.: Изд-во ГЦ РАН, 2012. С. 237–252.
4. *Геодинамика* западной части Монголо-Охотского пояса и тектоническая позиция рудных проявлений золота в Забайкалье / Ю.А.Зорин, В.Г.Беличенко, И.Г.Рутштейн и др. // Геология и геофизика. 1998. Т. 39. № 11. С. 104–112.
5. *Гордиенко И.В., Кузьмин М.И.* Геодинамика и металлогения Монголо-Забайкальского региона // Геология и геофизика. 1999. Т. 40. № 11. С. 1545–1562.
6. *Жирекенская* Мо-порфировая рудно-магматическая система (Восточное Забайкалье): U-Pb возраст, источники, геодинамическая обстановка / А.П.Берзина, А.Н.Берзина, В.О.Гимон и др. // Геология и геофизика. 2015. Т. 56. № 3. С. 571–594.
7. *Интерпретация* геохимических данных. Учебное пособие / Под ред. Е.В.Склярова. – М.: Интермет Инжиниринг, 2001.
8. *Магматические* и металлогенические предшественники рудоносного порфирового комплекса в медно-молибденовых рудных узлах / В.И.Сотников, В.А.Пономарчук, А.П.Берзина, В.О.Гимон / Геология и геофизика. 2006. Т. 47. № 12. С. 1277–1285.
9. *Минералогия* и условия формирования руд золотоносного W-Мо-порфирового Бугдаинского месторождения (Восточное Забайкалье), Россия / В.А.Коваленкер, Г.Д.Кисилева, Т.Л.Крылова, О.В.Андреева // Геология рудных месторождений. 2011. Т. 53. № 3. С. 107–142.
10. *Перетяжко И.С., Савина Е.А.* Тетрад-эффекты гранитоидных пород – следствие процессов жидкостной несмешиваемости в богатых фтором силикатных расплавах // Доклады академии наук. 2010. Т. 433. № 4. С. 524–529.
11. *Тейлор С.Р., Мак-Леннан С.М.* Континентальная кора: ее состав и эволюция. – М.: Мир, 1988.
12. *Шахтаминская* Мо-порфировая рудно-магматическая система: возраст, источники, генетические особенности / А.П.Берзина, А.Н.Берзина, О.В.Гимон и др. // Геология и геофизика. 2013. Т. 54 (6). С. 764–786.
13. *Ясыгина Т.А., Рассказов С.В.* Редкоземельные элементы с тетрад-эффектом: проявление в палеозойских гранитоидах Окинской зоны Восточного Саяна // Геохимия. 2008. № 8. С. 877–889.
14. *Irber W.* The lanthanide tetrad effect and correlation with K/Rb, Eu/Eu*, Sr/Eu, Y/Ho, and Zr/Hf of evolving peraluminous granite suites // *Geochim Cosmochim Acta*. 1999. Vol. 63. № (3/4). P. 489–508.
15. *Bau M., Koschinsky A.* Oxidative scavenging of cerium on hydrous Fe oxide: Evidence from the distribution of rare elements and yttrium between Fe oxide and Mn oxide in hydrogenetic ferromanganese crust // *Geochem. J.* 2009. Vol. 43. P. 37–47.
16. *REE portioning* between precipitates and weakly acid NaCl solutions: Convex tetrad effect and fractionation of Y and Sc from heavy lanthanides / I.Kawabe, A.Ohta, S.Ishu et al. // *Geochem. J.* 1999. Vol. 33. P. 167–179.

Белогорская интрузивно-купольная структура (Нижнее Приамурье): глубинное строение и рудно-магматическая зональность

Ю.П.ЮШМАНОВ (ФГБУН Институт комплексного анализа и региональных проблем ДВО РАН; 679016, г. Биробиджан, Шолом-Алейхема, д. 4),
А.М.ПЕТРИЩЕВСКИЙ (ФГБУН Институт комплексного анализа и региональных проблем ДВО РАН; 679016, г. Биробиджан, Шолом-Алейхема, д. 4; Национальный исследовательский Томский политехнический университет; 634050, г. Томск, пр. Ленина, д. 30)

На основании анализа гравиметрических данных в Нижнем Приамурье обнаружено обширное поднятие подкорового вязкого слоя, которое на поверхности хорошо выражено в тектоническом (осредненном) рельефе и геологических картах. Рудная минерализация размещена на флангах и в центре Белогорской интрузивно-купольной структуры, где выделены локальные участки для поисков промышленного золота.

Ключевые слова: глубинные структуры, купольное поднятие, рудная зональность, золото, Нижний Амур.

Юшманов Юрий Петрович
Петрищевский Александр Митрофанович



yushman@mail.ru
petris2010@mail.ru

Belogorsk intrusive-dome structure (Lower Amur region): Deep structure and ore-magmatic zoning

Yu.P.YUSHMANOV (Institute of Complex Analysis of Regional problems),
A.M.PETRISHCHEVSKY (Institute of Complex Analysis of Regional problems, National research Tomsk Polytechnic University)

Based on the analysis of gravity data extensive uplift of subcrustal viscous layer, which is well-expressed on the surface in the tectonic (averaged) topography and geological maps, was revealed in the Lower Amur region. Mineralization is located on the flanks and in the center of Belogorsk intrusive-dome structure where local areas for payable gold prospecting were highlighted.

Key words: deep structure, dome uplift, ore-zoning, gold, Lower Amur.

Белогорская интрузивно-купольная структура (ИКС) расположена в северном секторе Восточно-Сихотэ-Алинского вулcano-плутонического пояса (ВСАВПП), в Усть-Амурском прогибе на левобережье нижнего течения р. Амур, занимая площадь около 13 650 км² (рис. 1). Структура хорошо выражена в тектоническом (осредненном) рельефе земной поверхности [36] и на геологических картах [10, 12]. Она является сателлитом более крупной Нижне-Амурской структуры, проявленной в глубоких срезках Средне-Амурской модели μ_z -параметра [45], в магнитных и гамма-спектрометрических аномалиях [8]. Однако пространственные границы и глубинное строение этой структуры определены предшественниками неоднозначно, а контуры ее в магнитных и гамма-спектрометрических аномалиях лишь фрагментарно совпадают с морфометрическими и гравитационными границами структуры. Вероятно, это связано с широким проявлением сдвиговых дислокаций [11, 35, 44]. По последним данным [27], подошва

Центрально-Сихотэ-Алинского сдвига в Нижнем Приамурье залегает на глубине 15–20 км, то есть она приурочена к разделу гранитно-метаморфического и нижнекорового мафического слоев земной коры, и, таким образом, контуры приповерхностных структур могут не совпадать с контурами глубинных плотностных неоднородностей.

Потенциал описываемого вулcano-плутонического пояса на открытие крупного золотосеребряного месторождения класса Многовершинное далеко не исчерпан. В первую очередь, перспективы связаны с выявлением скрытых и слабоэродированных месторождений как в терригенных складчатых породах фундамента, так и вулканогенном чехле. В статье рассмотрено глубинное строение, рудно-магматическая зональность Белогорской ИКС, входящей в состав Нижне-Амурской металлогенической зоны, известной своими рудными месторождениями и проявлениями золото-серебряной и золото-полиметаллической формациями [4, 14, 18].

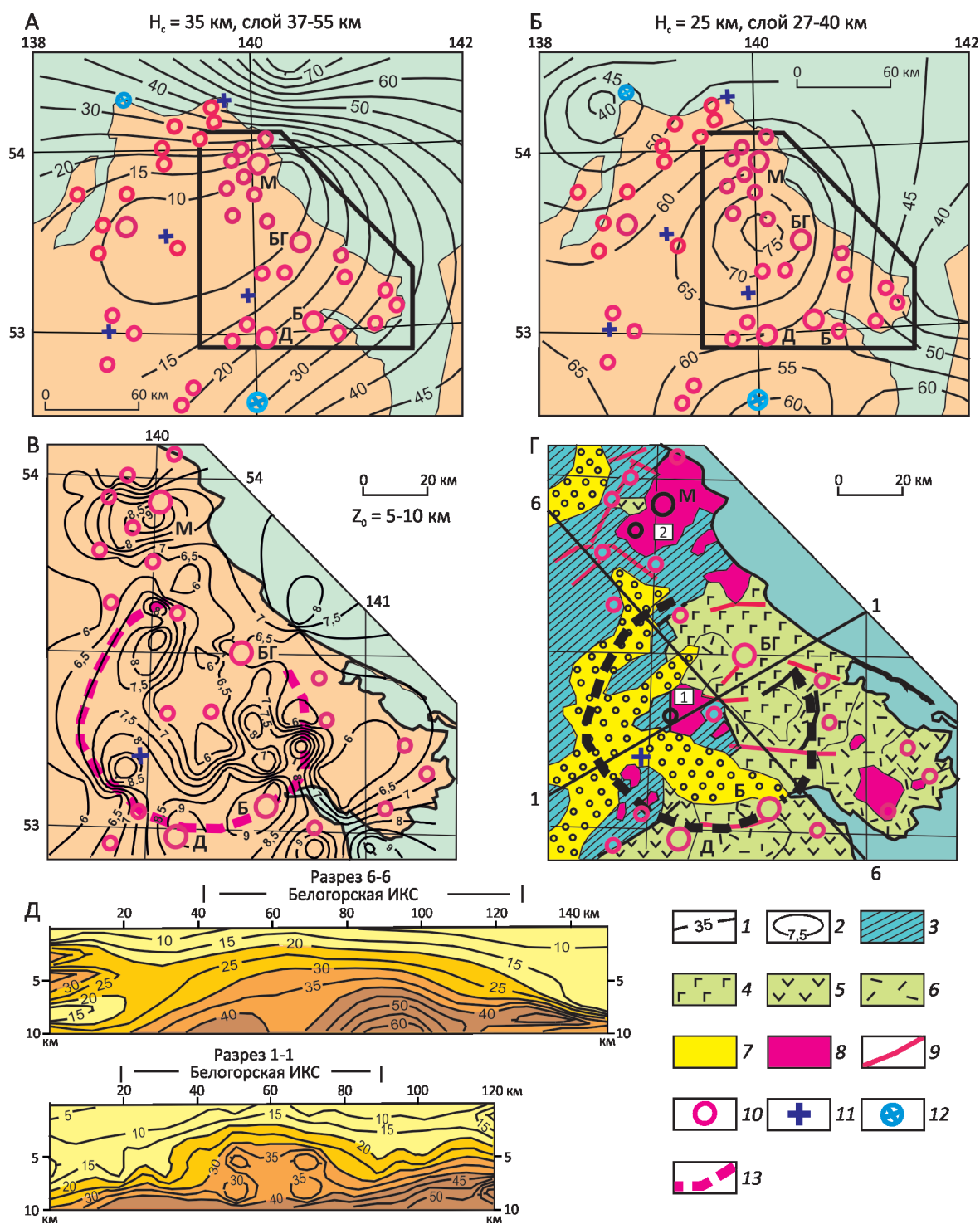


Рис. 1. Карты-срезы (А, Б) и разрезы (Д) реологических гравитационных моделей; распределение центров плотностных неоднородностей в слое 5–10 км от поверхности (В) и геологическая карта Белогорской интрузивно-купольной структуры в Нижнем Приамурье (Г):

1–2 – изолинии: 1 – μ -параметра и 2 – глубин залегания центров аномальных масс; 3 – складчатый фундамент Восточно-Сихотэ-Алинского вулканического пояса; 4–6 – вулканические комплексы: 4 – основного, 5 – среднего и 6 – кислого составов; 7 – позднекайнозойские осадочные отложения; 8 – позднемеловые гранитоиды; 9 – разломы; 10–12 – месторождения и рудопроявления: 10 – золота, 11 – молибдена и вольфрама, 12 – полиметаллов; 13 – контур Белогорской ВТС; месторождения: БГ – Белая Гора, М – Многовершинное, Б – Бухтанское, Д – Дыльменское; интрузивные массивы (цифры в квадратах): 1 – Гырманский, 2 – Бекчиулский

Краткий геологический очерк. Исследуемая территория расположена в северном секторе ВСАВПП, который интрузирует или перекрывает мезозойские осадочные образования Сихотэ-Алиньского орогенного пояса. Особенность тектонической структуры ВСАВПП – двухъярусное строение и сокращенная мощность земной коры. Верхний ярус образуют базальты, андезибазальты, андезидациты и риодациты позднего мела–палеоцена [9, 14]. Вулканогенные отложения на востоке скрыты водами Татарского пролива. На западе, северо-западе они денудированы, и в эрозионных окнах вскрыт фундамент, сложенный преимущественно интенсивно дислоцированными мезозойскими терригенными отложениями Журавлевско-Амурского турбидитового и Киселевского аккреционного террейнов. Журавлевско-Амурский террейн сложен главным образом валанжинскими аркозовыми песчаниками и алевролитами общей мощностью около 15 тыс. м. Киселевско-Маноминский апт-сеноманский террейн рассматривается как фрагмент аккреционной призмы, состоящей из пакета хаотически перетасованных тектонических пластин, сложенных или кремнями с базальтами и известняками, или кремнями и кремнисто-глинистыми породами, или терригенными породами. Пакет смят в складки северо-восточного простирания.

В строении Белогорской ИКС просматривается тектоническая и магматическая зональность, обычная для структур центрального типа: в центре структуры картируется Гырманский массив гранодиоритов, обрамляемый выходами складчатого фундамента (признак поднятия), на ее северо-восточном фланге – вулканы кислого состава, а северный, восточный и южный фланги структуры сложены андезитами и базальтами (рис. 1, Г).

Методика интерпретации гравиметрических данных. Существование трех структурных этажей (метаморфический фундамент, складчатый комплекс и вулканический чехол), интрузированных гранитоидами (см. рис. 1, Г), и недостаточный объем априорной петрофизической информации затрудняют моделирование глубинных структур Нижнего Приамурья аналитическими методами, поэтому в данной работе реализован статистический подход к решению обратной задачи гравиразведки. Выходным параметром в результате расчетной процедуры является не плотность, как это обычно принято при детерминированной интерпретации гравитационных аномалий, а плотностная контрастность среды на отрезках между центрами плотностных неоднородностей (Z_0) и поверхностями (H_c), на которые выматываются по Пуанкаре [32, 42] аномальные массы этих неоднородностей (рис. 2). Носителем информации о плотностной контрастности является μ_z -параметр.

Определение центров масс внутренне однозначно осуществляется на параллельных профилях, поперечно ориентированных относительно преобладающего про-

стирания гравитационных аномалий. Вычисление кажущегося положения центров масс осуществлялось по широтным профилям, отстоящим друг от друга на 25 км в региональной модели (рис. 1, А–Б) и 8 км – в детализационной модели (см. рис. 1, В). Каждое элементарное вычисление (Z_0) является случайным и не несет определенный геологический смысл, как это всегда бывает при реализации методов особых точек. Однако при генерализации (обобщении) результатов вычислений проявляются закономерности в распределениях центров плотностных неоднородностей, которые оказываются связанными с глубинным геологическим строением исследуемых территорий [22, 24].

На втором этапе интерпретации исследуемое геологическое пространство разбивалось на условные слои (18 слоев в региональной модели и 14 – в детализационной) и плотностные неоднородности компактного класса (то есть источники с изометричным поперечным сечением) в каждом слое выматывались по Пуанкаре [33, 42] на поверхности эквивалентных сфер, касательных к поверхностям (H_c) этих слоев по формуле на рис. 2. Поверхность H_c всегда располагалась выше на 1–2 км от поверхности соответствующего слоя, чтобы избежать обращения в ноль знаменателя в формуле μ_z (см. рис. 2). Пиковые значения μ_z принудительно сглаживались.

В результате формировалась объемная модель распределений плотностной контрастности $\mu_z(x, y, H_c)$, которая на заключительном этапе интерпретации трансформировалась в карты-срезы (см. рис. 1, А–Б) и разрезы (см. рис. 1, Д) μ_z -модели. Расчеты выполнены отдельно для Нижне-Амурской структуры (см. рис. 1, А–Б) и входящей в нее Белогорской ИКС (см. рис. 1, В–Д). В первом случае исходным материалом являлась Государственная гравиметрическая карта масс штаба 1:2 500 000, а во втором – более детальная карта.

Опыт проведенных исследований [20, 23–28] свидетельствует о том, что построенные описанным образом модели плотностной контрастности отражают реологическое состояние геологических сред. Во всех изученных авторами районах максимумам μ_z -параметра в земной коре соответствуют жесткие массивы и блоки древних кристаллических комплексов (AR–PR), пластины вулканогенно-кремнистых пород (MZ) и океанической коры, а минимумам – турбидитовые комплексы, зоны милонитизации и аккреционные призмы, характеризующиеся микститовой структурой, а также области и участки термогенного понижения вязкости в переходном слое «кора–мантия» под гранитоидными и вулканическими поясами. В верхней мантии по значениям μ_z -параметра уверенно различаются литосферные плиты (максимумы) и разделяющие их выступы астеносферы (минимумы). Структуры центрального типа диагностируются по концентрически зональным расположениям аномалий плотностной контрастности [21, 24, 26, 28].

В разрезах объемных моделей этого параметра μ_z -минимумы совпадают с зонами поглощения и уменьшения скорости сейсмических волн (ГСЗ и МОБЗ-зондирования), минимумами удельного электрического сопротивления (МТЗ) и зонами нарушенного фазового состояния (частичного плавления), предполагаемыми в тепловых моделях [23–25].

Глубинное строение и рудно-магматическая зональность. Пространственные параметры глубинных структур Нижне-Амурского района определены при анализе объемных распределений центров плотностных неоднородностей (Z_0) и плотностной контрастности геологических сред (μ_z), составленных по результатам обработки мелкомасштабной (см. рис. 1, А–Б) и среднемасштабной (см. рис. 1, В) гравиметрических карт.

Положение Нижне-Амурской корово-мантийной тектономагматической структуры в горизонтальных сечениях подкорового (см. рис. 1, А) и нижнекорового (см. рис. 1, Б) слоев верхней мантии иллюстрирует рис. 1. На границе кора–мантия Нижне-Амурский рудный район, к которому принадлежит Белогорская ИКС, выражен обширным минимумом плотностной контрастности, по периферии которого концентрируются рудные месторождения. Белогорское и Многовершинное месторождения тяготеют к центру минимума. Существование μ_z -минимума в переходном слое кора–мантия, по аналогии с другими структурами центрального типа в Приамурье [26, 28], свидетельствует о реологическом разуплотнении этого слоя и существовании обширного очага расплавленной магмы, являющегося источником вулканических масс и рудогенных флюидов, обусловивших повышенные концентрации рудных элементов у поверхности Земли.

Белогорская тектономагматическая структура второго порядка в гравитационных моделях начинает проявляться с глубины 20 км (см. рис. 2, Б), что свидетельствует о связи рудной минерализации этой структуры с реологическим разуплотнением нижнекорового слоя. В верхнекоровом срезе (см. рис. 1, В) и разрезах (см. рис. 1, Д) Белогорская структура четко выражена поднятием в центре и окаймляющими его локальными прогибами. По совокупности признаков (см. рис. 1, Б, В) эту структуру можно отнести к типу интрузивно-купольных, что находит подтверждение на геологической карте (см. рис. 1, Г). В её своде обнажаются терригенные породы основания, интродуцированные гранитами и гранодиоритами Гырманского плутона. Его западная и южная границы относительно прямолинейные, а северная и восточная – извилистые и сопровождаются широкими (1,5–3,0 км) ореолами биотит-кордиеритовых, кварц-андалузитовых, кварц-полевошпатовых и биотитовых роговиков. На удалении роговики переходят в неизменные породы. По геофизическим данным [12] на глубине плутон имеет форму плиты мощностью 1 км, которая полого погружается на восток под углами

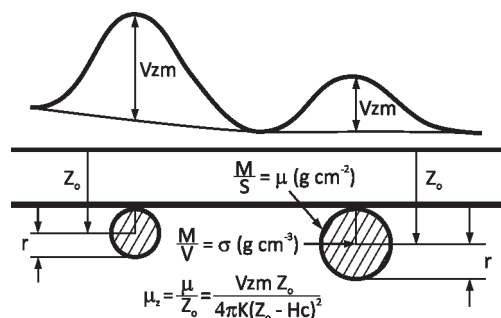


Рис. 2. К определению плотностной контрастности (μ_z -параметра):

V_{zm} – амплитуда гравитационных аномалий; Z_0 – центр аномальных масс; r – радиус эквивалентных сфер; H_c – поверхность, к которой выметаются аномальные массы источников гравитационных аномалий; M – аномальная масса источника; V – объем источника; σ – избыточная плотность объемного источника; S – площадь поверхности эквивалентной сферы; μ – поверхностная плотность сферы; μ_z – плотностная контрастность

20–30°. Радиологические датировки Гырманского массива варьируют от 69 до 90 млн. лет для гранодиоритов и от 70 до 86 млн. лет для гранитов, также отвечают позднему мелу [12].

В относительном расположении месторождений и рудопроявлений угадывается слабая металлогеническая зональность: в центральной зоне μ_z -минимума располагаются преимущественно молибденовые и вольфрамовые ореолы, оконтуривающие выходы Гырманского массива, а на его периферии – полиметаллические. На Искринском месторождении алунитовых руд и проявлении Красная горка устанавливаются прямые признаки полиметаллических руд [12]. Золоторудная минерализация локализуется во всех зонах Нижне-Амурского μ_z -минимума, однако большинство золоторудных месторождений тяготеет к его периферии. Такая же зональность обнаружена авторами в зонах влияния Мая-Селемджинской [26] и Алдано-Зейской [28] структур центрального типа плюмовой природы.

В нижнекоровом срезе (см. рис. 1, Б) Белогорская интрузивно-купольная структура проявлена изометричным μ_z -максимумом, к центру и флангам которого приурочена золоторудная и молибденовая минерализация. Максимум, скорее всего, обусловлен магматическим мантийным диапиром основного состава, чему не противоречат андезибазальтовые вулканы на западном фланге ИКС (см. рис. 1, Г).

На флангах раннемеловой складчатый фундамент перекрыт эффузивами, выполняющими вулканотектонические депрессии с риодацитовым, андезитовым и базальтовым магматизмом, определяющим

кольцеобразное положение малых провалов на флангах ИКС. В вулканических комплексах просматривается магматическая зональность: позднемеловые кислые вулканы (дациты и риолиты) в центре обрамляются на периферии палеогеновыми и неогеновыми базальтоидами.

Концентрическое строение Белогорской ИКС с интенсивно проявленным магматизмом подчеркивается полиформационной рудной зональностью, проявление которой, по-видимому, зависит от глубины эрозионного среза рудно-магматической системы. Центральная часть Гырманского плутона площадью более 50 км² эродирована и не несет минерализации. В экзоконтакте в ореолах роговиков установлены золото-полиметаллические проявления. Все они однотипны: золото приурочено к тонким жилам и прожилкам кварцевого, кварц-серицитового состава, в минерализованных (кварц-сульфидных) зонах дробления [12]. Плутон оконтуривают шлиховые ореолы шеелита и вольфрамита.

Низкотемпературные эпитепральные Au-Ag месторождения и проявления (Белая Гора, Дыльменское, Бухтыанское и др.) расположены на периферии ИКС в сохранившихся сателлитных вулканических постройках. Примером палеогенового оруденения является небольшое золото-кварцевое месторождение Дыльменское, приуроченное к линейной андезидацитовой вулканоструктуре [15]. В его рудном поле зона кварц-серицитовых метасоматитов (2000×260–330 м) вмещает тело кварцитов мощностью до 30 м, кварцевые жилы и кварц-прожилковые зоны со средним содержанием золота 5,5 г/т.

Эпитепральное золото-серебряное месторождение Белая Гора локализовано в субвулканических и покровных образованиях палеовулканической постройки олигоценного возраста [14, 15, 18]. По гравиметрическим данным и ДЭЗ, на глубине около 1000 м в корневой части палеовулкана выделяется магматическое тело, которое интерпретируется как массив габбро-диоритов или габбро-монзонитов [6]. На картах магнитного поля жерловые отложения характеризуются относительным минимумом, что связано с высокой намагниченностью окружающих базальтов сизиманской толщи. Конусовидный нект (850×750 м) сложен трахидацитами, трахитами и эруптивными брекчиями (колчанский вулканический комплекс), прорывающими прижерловые покровные фации игнимбритов, трахидацитов и их туфов колчанской свиты и базальтов сизиманской толщи (рис. 3). Вулканические породы колчанского комплекса и в меньшей мере сизиманской толщи подвержены гидротермально-метасоматическим изменениям. Наиболее распространены пропилитизированные породы карбонат-хлоритового состава. В жерле вулкана встречаются также дикиитовые, серицитовые, гидрослюдистые и монокварцевые вторичные кварциты, тела кварц-адуляровых и кварц-гидрослюдисто-адуляровых

метасоматитов, которые приурочены к нектору, вмещающему промышленную золото-серебряную минерализацию [15]. Радиологические датировки адуляр-кварцевых метасоматитов (K/Ar 5 определений: 22–39 млн. лет, среднее – 30,8 млн. лет) отвечает олигоцену [14]. Этот же возраст имеют метасоматиты месторождения Бухтыанское (K/Ar 7 определений: 25–39 млн. лет).

Гидротермально измененные породы и метасоматиты расположены концентрически-зонально и сопровождаются кольцевыми разломами [7]. Практически все гидротермально-метасоматически измененные породы в разной степени золотоносны. В них развиты гнездобразные скопления мелких, часто микроскопических кварцевых, кварц-адуляровых прожилков, с которыми связаны наиболее высокие концентрации золота. Разведано два рудных тела: Штокверковское и Пологое. Штокверковская залежь (площадь 92 тыс. м²) изометричной формы вытянута в северо-восточном направлении. Она продолжается на глубину 312 м, где её нижняя граница не определена [12]. Оруденение крайне неравномерное с локальными гнездами с содержанием Au до 10 г/т, среднее 3,5 г/т. В 200 м к северо-западу от Штокверка расположена Пологая залежь (45,9 тыс. м²) со средней мощностью 9,18 м и средним содержанием Au 5,17 г/т. В экзоконтакте нект в пропилитизированных базальтах расположены зоны Огородная, Южная и Заячья. Жильная зона Заячья широтного простирания прожилкового окварцевания и адуляризации мощностью от 2 до 100 м. Она прослежена на 1300 м и представлена зоной скалывания с кулисным расположением рудных гнезд длиной 20–80 м, простирающихся в направлении запад–восток и юго-запад–северо-восток. Разведочными канавами вскрыто гнездо размером 270×1,4 м со средним содержанием Au 6,9 г/т. Встречаются и бонанцы с содержанием Au 320 г/т. Вертикальный размах золотого оруденения 60–120 м не соответствует действительности и, по-видимому, обусловлен малым размером или пережимом перебуренных скважинами рудовмещающих разрывов. При сбросах обычно образуются эшелонные кулисные разрывы, уходящих на значительную глубину. Кулисы часто являются рудными столбами, где богатые руды слагают центральную часть кулис в участках приоткрывания разрывов в режиме трансенсии [41]. Здесь наблюдается интенсивная гидротермальная переработка вмещающих пород. По простиранию эти участки сменяются безрудной неизменной брекчией. Эти факты необходимо учитывать при определении рудного потенциала кулис в процессе поисков на глубине скрытых рудных тел.

В заключение отметим, что в северной части Нижне-Амурского рудного района подавляющая часть рудопроявлений и все крупные месторождения золота расположены в зонах локальных прогибов складчатого фундамента, отображаемых распределением центров плотностных неоднородностей в интервале глубин 5–10 км. Такое размещение месторождений может быть

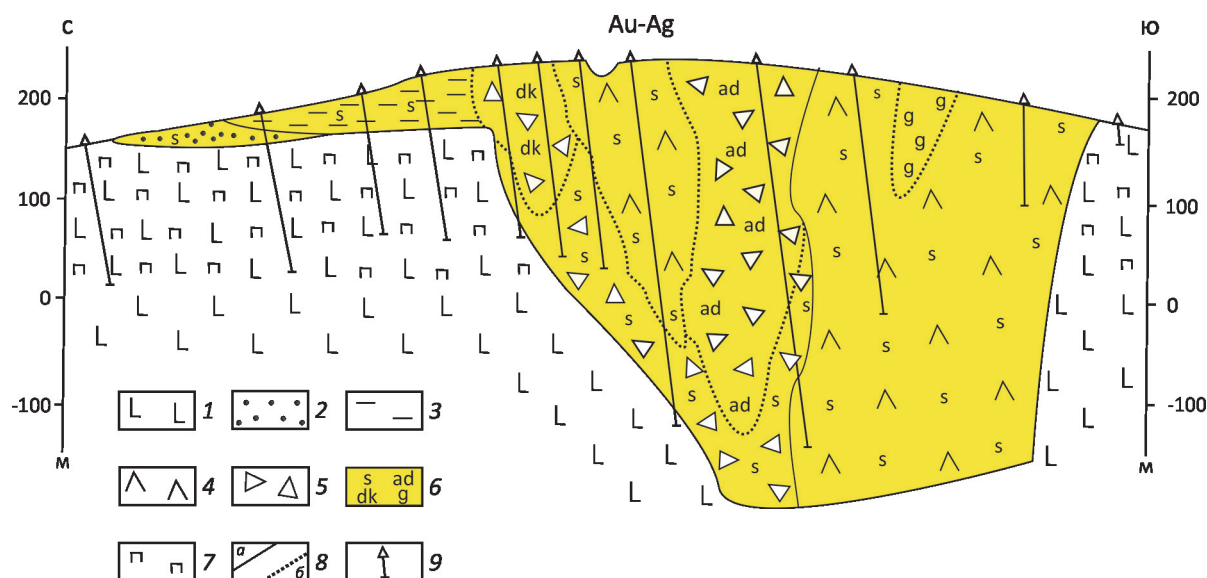


Рис. 3. Геологический разрез эпитермального золото-серебряного месторождения Белая Гора, приуроченного к неку в жерле палеовулкана. По Э.П.Хохлову, 1983:

1 – базальты; 2 – туфы трахитов; 3 – игнимбриты трахитов; 4 – трахидациты; 5 – эруптивные брекчии трахидацитов; 6 – вторичные кварциты серицитовые (s), адуляровые (ad), диктитовые (dk), монокварцевые (g); 7 – пропилиты карбонат-хлоритовые (п); 8 – границы геологические (а) и метасоматические (б); 9 – скважины

обусловлено большим вертикальным диапазоном рудогенных флюидов, несущих золоторудную минерализацию, и соответствующим увеличенным диапазоном связи рудных месторождений с плотностными неоднородностями земной коры. Из приводимых данных следует, что в результате синрудных или пострудных вертикальных подвижек золоторудная минерализация Нижне-Амурского района сохранилась в опущенных блоках. Известно, что во многих других районах золоторудная минерализация тоже очень часто тяготеет к прогибам разного ранга [3, 5, 31, 34, 39, 46]. По-видимому, это связано с тем, что для золоторудной минерализации характерен большой вертикальный диапазон оруденения [4, 13] и в горст-антиклинальных структурах сохраняются только нижние ярусы рудно-магматических колонн. Поэтому повышенный интерес представляет локальный прогиб на северо-западном фланге структуры (на пересечении координат 140 в.д. и 53°30' с.ш.), где известны признаки золоторудной минерализации (см. рис. 1, В).

Таким образом, распределения формализованных параметров (см. рис. 1, А–Г) в разрезе Белогорской ИКС и связь с этими распределениями приповерхностной рудной минерализации в очередной раз подтверждают фундаментальную закономерность размещения рудной минерализации на флангах и в центрах очаговых тектономагматических структур, хорошо проявленную в Сихотэ-Алине [21, 40], Приамурье [26, 28] и других

районах [19, 33]. Промежуточные зоны между центрами и флангами вулканотектонических структур центрального типа часто оказываются безрудными [27, 29]. Эта закономерность, по аналогии, позволяет ожидать открытие крупного скрытого месторождения золота в центре Белогорской ИКС. Пока же там известны только два рудопоявления – индикатора нескрытых промышленных рудных тел в терригенных породах фундамента (см. рис. 1, В). В нижнем структурном ярусе северной части Восточно-Сихотэ-Алинского вулканоплутонического пояса важную роль в размещении промышленного золото-кварцевого и золото-сульфидного оруденения играют нижнемеловые терригенные углеродистые отложения (пионерская и ларгасинская свиты) [2], что согласуется с результатами геохимического опробования осадочных толщ [30]. Золотоносные углеродистые толщи, вмещающие «рудогенерирующие» гранитоиды, по-видимому, являются корнями вулканогенных и вулканогенно-плутоногенных месторождений ВСАВПП. Примеры – крупное месторождение Многовершинное с запасами более 100 т; месторождения Белая Гора и Бухтыанское [2]. Большинство исследователей [17, 18, 29, 37, 38 и др.] считают, что источники золота были глубинными и располагались в нижней части земной коры или в подкоровом слое верхней мантии, что находит подтверждение в формальной связи рудной минерализации с плотностными неоднородностями (см. рис. 2, А–Б). Однако единых представлений об

источнике золота пока не выработано, поэтому этот вопрос требует дальнейшего изучения.

Аналогом прогнозируемого объекта в Белогорской ИКС, по-видимому, является расположенное севернее крупное золото-серебряное месторождение Многовершинное. Оно залегает в экзоконтакте Бекчиулского гранитного плутона, слагающего ядро вулкано-интрузивно-купольной структуры 3-го порядка и относимого к тому же интрузивному комплексу, что и Гырманский массив. Фундаментом для вулканических образований служат смятые в крутые складки юрско-меловые турбидиты Журавлевско-Амурского террейна [9], включающие углеродистые терригенные отложения пионерской свиты [2, 18]. Верхний структурный ярус представлен преимущественно палеоценовыми жерловыми и субвулканическими фациями вулканитов – брекчиевыми лавами пироксеновых и роговообманковых андезитов, андезитами, андезидацитами и туфами. Породы покровной фации почти полностью эродированы. Оба структурных комплекса интрузирует Бекчиулский массив гранитоидов. К/Аг возраст гранитов 54–72 млн. лет [1]. Рудные тела представлены гидротермально измененными адуляр-кварцевыми жильными зонами. Некоторые жильные зоны состоят из родонит-карбонатных жил и линз скарнов с сульфидной минерализацией. Общее число рудных зон около 30, но наиболее изучены четыре из них. Самые богатые рудные тела расположены в 2 км к северо-западу от экзоконтакта с гранитным массивом. Распределение благородных металлов в рудных телах весьма неравномерное: среднее содержание Au 9,5 г/т, в локальных участках – 200–250 г/т; содержание Ag – от 10 до 140 г/т [16]. По данным Е.И.Бондаренко [1] К/Аг возраст рудной минерализации 62–66 млн. лет. Вмещают промышленные рудные тела гидротермально измененные брекчиевые лавы и туфы андезитов, а за пределами рудного поля и на глубоких горизонтах в осадочных породах фундамента развиты штокверки и рудные зоны. На контакте с гранитоидами осадочные породы превращены в пироксен-полевошпатовые роговики, кварц-кордиеритовые и кварц-биотитовые, а вулканиты – кварц-биотитовые и альбит-эпидот-актинолитовые породы. Рудные зоны простираются в северо-восточном направлении общей протяженностью около 3 км. Вертикальный размах оруденения 600 м. Границами рудного поля являются крупные тектонические разломы широтного и северо-восточного направления. Таким образом, крупность и богатство месторождения определяется его приуроченностью к Бекчиулской ИКС, включающей золотоносные углеродистые отложения фундамента, интрузивные, субвулканические и покровные фации, развитие в рудах нескольких продуктивных ассоциаций золота, наличие бонанц и рудных столбов.

Богатые золото-серебряные жилы Многовершинного месторождения расположены как вблизи границы вулканитов с породами фундамента, так и в углеродистых

терригенных толщах, слагающих нижний структурный этаж [2, 9, 16, 18]. На богатейшем месторождении Хисикари в Японии золото-серебряные жилы локализованы в терригенных толщах фундамента под экраном вулканитов [43]. Эти данные, по мнению авторов данной публикации, подтверждают перспективу открытия слепых и богатых золото-серебряных жил как в осадочных породах интенсивно дислоцированного фундамента в центре Белогорской ИКС, так и на флангах в вулканитах.

Авторы признательны рецензентам за внимательное прочтение рукописи и ценные комментарии к тексту и графике, позволившие преодолеть замеченные недостатки в изложении материала.

Статья подготовлена при поддержке Гранта ДВО РАН 15-I-2-004 по программе фундаментальных исследований ДВО РАН «ДАЛЬНИЙ ВОСТОК» на 2015–2017 гг.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бондаренко Е.И. Возраст вулканогенных образований и оруденения Восточного Приамурья и Северного Сихотэ-Алиня / Геохронология СССР. Т. 2. Фанерозой. – Л.: Недра, 1974. С. 284–288.
2. Буряк В.А. Основы минерагении золота. – Владивосток: Дальнаука, 2003.
3. Василевский М.М., Довбня А.В., Некрасова Ж.А. Региональные и локальные закономерности размещения эпitherмальных золотосеребряных и полиметаллических месторождений. – Л., 1970.
4. Волярович Г.П. Типы месторождений золота и закономерности их размещения на Дальнем Востоке // Золоторудные формации Дальнего Востока. – М.: Наука, 1969. С. 7–35.
5. Волков А.В., Сидоров А.А., Старостин В.И. Металлогения вулканических поясов и зон активизации. – М.: МАКС-ПРЕСС, 2014.
6. Володькова Т.В. Гамма-спектральные поля и распределение золоторедкометалльного оруденения в Нижне-Амурском регионе // Автореф. дис. ... канд. геол.-минер. наук. – Хабаровск, 1999.
7. Володькова Т.В. Особенности рудоносных палеовулканических структур Приамурья и вулканов Курил по аэрогеофизическим данным. www.kscnet.ru/ivs/slsecret/75-kvs/Material_conference/art6.pdf. Дата обращения (18.03.2016).
8. Володькова Т.В., Подгорный В.Я. Геолого-геофизическая характеристика горячих точек Приамурья // Тихоокеанская геология. 2010. Т. 29. № 1. С. 67–82.
9. Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России. Кн. 1. // Под ред. А.И.Ханчука. – Владивосток: Дальнаука, 2006.
10. Геологическая карта Приамурья и сопредельных территорий. Масштаб 1: 2 500 000. – СПб.–Благовещенск–Харбин, 1999; МПР РФ: ВСЕГЕИ, Амурский КИП; Министерство геологии и минеральных ресурсов КНР: Упр. геологии и полезных ископаемых пров. Хэйлунцзян.

11. *Иванов Б.А.* Центральный Сихотэ-Алиньский разлом. – Владивосток: Дальневосточное кн. изд-во, 1972.
12. *Кайдалов В.А., Новоселов Б.А., Мак Л.Б.* Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:200 000. Изд. второе. Серия Николаевская, лист N-54-XXI. Объяснительная записка. – СПб., 2001.
13. *Корольков А.Т.* Геодинамика золоторудных районов юга Восточной Сибири. – Иркутск: Изд-во Иркутского ун-та, 2007.
14. *Металлогения Дальнего Востока России / В.И.Сухов, Ю.И.Бакулин, Н.П.Лошак и др.* – Хабаровск, 2000.
15. *Мишин Л.Ф.* Гидротермально измененные породы и перспективная оценка месторождения Белая гора // Геология и полезные ископаемые Приамурья. – Хабаровск, 1999. С. 72–76.
16. *Многовершинное* / URL: <http://www.mestor.geoinfocom.ru>. Дата обращения (18.10.2016).
17. *Моисеенко В.Г.* Геохимия и минералогия золота рудных районов Дальнего Востока. – М.: Наука, 1977.
18. *Моисеенко В.Г., Эйриш Л.В.* Золоторудные месторождения Востока России. – Владивосток: Дальнаука, 1996.
19. *Нарсеев В.А., Курбанов Н.И., Константинов М.М.* Прогнозирование и поиски месторождений золота. – М.: ЦНИГРИ, 1989.
20. *Петрищевский А.М.* Тектоника Нижнего Приамурья // Тихоокеанская геология. 1984. № 1. С. 62–70.
21. *Петрищевский А.М.* Глубинные структуры Вознесенского флюоритового района. – Владивосток: Дальнаука, 2002.
22. *Петрищевский А.М.* «Теневые» гравитационные модели глубинных структур земной коры и верхней мантии // Геофизика. 2004. № 4. С. 48–54.
23. *Петрищевский А.М.* Гравитационный индикатор реологических свойств тектоносферы дальневосточных окраин России // Физика Земли. 2006. № 8. С. 43–59.
24. *Петрищевский А.М.* Гравитационный метод оценки реологических свойств земной коры и верхней мантии (в конвергентных и плюмовых структурах Северо-Восточной Азии). – М.: Наука, 2013.
25. *Петрищевский А.М.* Общие черты глубинного строения тектоносферы западно-тихоокеанских континентальных окраин (Северо-Восточная Азия и Австралия) // Геотектоника. 2016. № 6. С. 87–104.
26. *Петрищевский А.М., Юшманов Ю.П.* Реология и металлогения Мая-Селемджинского плюма // Доклады РАН. 2011. Т. 440. № 2. С. 207–212.
27. *Петрищевский А.М., Юшманов Ю.П.* Связь рудных месторождений Нижнего Приамурья с глубинными структурами земной коры // Доклады РАН. 2014а. Т. 457. № 5. С. 597–602.
28. *Петрищевский А.М., Юшманов Ю.П.* Геофизические, магматические и металлогенические признаки мантийного плюма в верховьях рек Алдан и Амур // Геология и геофизика. 2014б. Т. 55. № 4. С. 568–593.
29. *Пискунов Ю.Г.* Интрузивный магматизм и золотое оруденение Улской вулканоплутонической структуры (Нижнее Приамурье) // Автореф. дис. канд. геол.-минер. наук. – М., 1983.
30. *Пискунов Ю.Г., Забелин В.В.* Геохимия золота в стратиграфическом разрезе Северного Сихотэ-Алиня // Геология, минералогия и геохимия месторождений благородных металлов Востока России. Новые технологии переработки благороднометалльного сырья: сб. науч. трудов / Под ред. В.Г.Моисеенко, А.П.Сорокина. – Благовещенск: ИГиП ДВО РАН, 2005. С. 226–229.
31. *Сафонов Ю.Г.* Гидротермальные золоторудные месторождения: распространенность – геолого-генетические типы – продуктивность рудообразующих систем // Геология рудных месторождений. 1997. Т. 39. № 1. С. 25–40.
32. *Сретенский Л.Н.* Теория ньютоновского потенциала. – М.–Л., 1946.
33. *Сторожук О.В.* О повышении эффективности поисков и оценки золотого оруденения, связанного с очаговыми скрытоплутоническими структурами // Руды и металлы. 2001. № 2. С. 55–59.
34. *Структурные условия формирования эндогенных рудных месторождений / Л.И.Лукин, И.З.Корин, Г.Г.Кравченко и др.* – М.: Наука, 1973.
35. *Уткин В.П.* Сдвиговые дислокации, магматизм и рудообразование. – М.: Наука, 1989.
36. *Уфимцев Г.Ф., Алексеенко С.Н., Онухов Ф.С.* Морфотектоника Нижнего Приамурья // Тихоокеанская геология. 2009. Т. 28. № 6. С. 81–83.
37. *Хомич В.Г.* Металлогения вулканоплутонических поясов северного звена Азиатско-Тихоокеанской мегазоны взаимодействия. – Владивосток: Дальнаука, 1995.
38. *Эйриш Л.В.* О связи золотого оруденения с магнитными гранитоидми (на примере Дальнего Востока) // Тихоокеанская геология. 1983. № 4. С. 54–68.
39. *Эштейн Ю.Я., Фельдман А.А., Морозова Л.В.* Строение вулканотектонических структур и положение в них рудных полей по данным комплексных геолого-геофизических исследований // Геология и разведка. 1985. № 6. С. 47–54.
40. *Юшманов Ю.П., Петрищевский А.М.* Тектоника, глубинное строение и металлогения Прибрежной зоны южного Сихотэ-Алиня. – Владивосток: Дальнаука, 2004.
41. *Юшманов Ю.П.* Эшелонированные разрывные структуры месторождения Минеральное в восточном Сихотэ-Алине // Вести Колымы. 2003. № 21. С. 45–46.
42. *Evans G.C.* Application of Poincare's sweeping-out process. *Mathematics*. 1933. Vol. 19. P. 457–461.
43. *Izava E., Urashima Y., Ibaraki K.* The Hishikari gold deposits: high-grade epithermal veins in Quaternary volcanic of southern Kyushu, Japan // Epithermal gold mineralization of the Circum-Pacific. Elsevier. 1990. P. 1–16.
44. *Khanchuk A.I., Kemkin I.V., Kruk N.N.* The Sikhote-Alin orogenic belt, Russian South East: Terranes and the formation of continental lithosphere based on geological and isotopic data. *Journal of Asian Earth Sciences*. 2016. Vol. 120. № 15. P. 117–138.
45. *Petrishchevsky A.M., Khomich V.G., Boriskina N.G.* Deep metallogenic speciality of lithosphere in Russian Amur Province // *Journal of Geoscientific research in Northeast Asian*. Vol. 6. № 2. 2003. P. 171–182.
46. *Sillitoe R.H.* Gold Metallogeny in Chile // *Econ. Geol.* 1991. Vol. 86. P. 1167–1205.

Комплексное применение геолого-геофизических методов при изучении геотермальных ресурсов в южном Прибайкалье (Восточная Сибирь, Иркутская область)

Н.В.ВИЛОР (Институт геохимии Сибирского отделения Российской Академии наук (ИГХ СО РАН); 664033, Иркутск-33, ул. Фаворского, 1А),
 Ю.А.ДАВЫДЕНКО, М.С.ШКИРЯ (Иркутский национальный исследовательский технический университет (ИНИТУ); 664074, г. Иркутск-74, ул. Лермонтова, 83),
 М.А.ВИЛОР (Институт географии Сибирского отделения Российской Академии наук (ИГ СО РАН), 664033, г. Иркутск-33, ул. Улан-Баторская, 1),
 П.С.БАДМИНОВ (Институт земной коры Сибирского отделения Российской Академии наук (ИЗК СО РАН), 664033, г. Иркутск-33, ул. Лермонтова, 128),
 А.Е.БУДЯК, А.В.ПАРШИН (Институт геохимии Сибирского отделения Российской Академии наук (ИГХ СО РАН); 664033, Иркутск-33, ул. Фаворского, 1А)

При актуальности проблемы использования альтернативных источников энергии проводится изучение геотермальных ресурсов с поисками месторождений термальных минеральных вод в Центральной экологической зоне Байкальской природной территории южного Прибайкалья Иркутской области. Энергетический потенциал геотермальных ресурсов, связанных с подземными резервуарами термальных вод, контролируется структурами пересечения крупных региональных сейсмоактивных разломов с поперечными сбросами. В Муринско-Выдринской депрессии выделен блок, содержащий водные запасы подземного геотермального месторождения, с применением комплекса геологических, геохимических и геофизических методов.

Ключевые слова: подземные воды, импульсная электроразведка, тепловая, космическая, съемка, Прибайкалье.

Вилор Николай Васильевич
 Давыденко Юрий Александрович
 Шкиря Михаил Сергеевич
 Вилор Михаил Александрович
 Бадминов Прокопий Сократович
 Будяк Александр Евгеньевич
 Паршин Александр Вадимович



vilor@igc.irk.ru
 geophys@geo.istu.edu
 geophys@geo.istu.edu
 mvilor@rambler.ru
 prokop_sbada@mail.ru
 budyak@igc.irk.ru
 sarhin@geo.istu.edu

Complex application of geological and geophysical methods for research of geothermal resources in southern part of Baikal region (Eastern Siberia, Irkutsk region)

N.V.VILOR (A.P.Vinogradov Institute of Geochemistry of the Siberian Branch of the RAS),
 Yu.A.DAVIDENKO, M.S.SHKIRIYA (National research Irkutsk technical University (INITU))
 M.A.VILOR (Institute of geography, Siberian branch of the Russian Academy of Sciences (IG SB RAS)),
 P.S.BADMINOV (Institute of earth crust, Siberian branch of the Russian Academy of Sciences (IZK SB RAS)),
 A.E.BUDYAK, A.V.PARSHIN (A.P.Vinogradov Institute of Geochemistry of the Siberian Branch of the RAS)

Research of geothermal resources is conducted in the Central ecological zone of Baikal natural territory in the southern part of Baikal region (Irkutsk region) because the alternative power sources utilization problem is urgent and valid. Reserves of geothermal resources as reservoirs of underground thermal waters are controlled by crossing structures of large regional seismoactive faults with transversal faults. The block containing thermal waters reserve in the underground geothermal deposit was detected by using a complex of geological, geochemical and geophysics methods in Murino – Vidrino depression.

Key words: underground waters, impulse electrical survey, heat, flow, Baikal region.

Постановка проблемы. Центральная экологическая зона Байкальской природной территории (ЦЭЗ БПТ) находится в Байкальском регионе, имеющем статус объекта Всемирного Наследия ЮНЕСКО. На ее части вдоль южного побережья оз. Байкал в Иркутской области расположены города Слюдянка, Байкальск и поселки городского типа Выдрино, Танхой, промышленные объекты и жилые массивы которых энергодефицитны из-за необходимости тепло- и горячего водоснабжения. Традиционные способы теплогенерации имеют существенные экологические ограничения и экономические издержки из-за особо охраняемого статуса ЦЭЗ БПТ. Поэтому в основных направлениях по уменьшению загрязнения центральной экологической зоны и повышению надежности теплоснабжения населенных пунктов актуальна альтернатива замены энергетического углеводородного топлива по причинам отрицательных экологических и инфраструктурно-экономических последствий на экологически чистую малозатратную низкопотенциальную первичную тепловую энергию, неисчерпаемыми запасами которых располагает Байкальская рифтовая зона (БРЗ) в виде геотермальных ресурсов (ГР). В БРЗ тепловой потенциал ГР доступен современным технологиям и достаточен для теплоснабжения крупных административных, производственных и рекреационных объектов. Экономическая выгода и целесообразность такой замены подтверждена технико-экономическими расчетами по нормативам энергоэффективности и энергосбережения [23, 27]. В исследованиях водных ресурсов Байкальского региона [13, 15, 16, 22] изучены основные месторождения природных горячих минеральных вод с оценкой перспективности их геотермальных ресурсов. При существующем дефиците теплоэнергетических и бальнеологических водных ресурсов в инфраструктурно освоенном и инвестиционно привлекательном Иркутском южном Прибайкалье необходимо применение комплексного подхода к эффективным поискам термальных вод. Актуальность проблемы повышается тем обстоятельством, что все эксплуатируемые запасы термальных вод, в том числе и лечебных, находятся за пределами Иркутской области. Задача включала применение конкретных поисковых, исследовательских методов геолого-геофизического профиля для прогнозной оценки запасов геотермальных ресурсов, востребованных в регионе. Работа выполнена на средства бюджета при финансовой поддержке по проектам РФФИ 12-05-98012-р_Сибирь-а, 14-05-00245, при содействии Министерства природных ресурсов Иркутской области и заинтересованности частного инвестора группой исполнителей от Институтов геохимии, географии, земной коры ИНЦ СО РАН и Иркутского национального исследовательского технического университета, г. Иркутск.

Обоснование района исследований. При современной геодинамике Байкальская рифтовая зона выделяется увеличенными значениями гравитационных,

геоэлектрических, сейсмологических характеристик и высоким тепловым потоком, формирующим ее геотермальные ресурсы. Региональный тепловой поток Байкальского рифта (рис. 1, А) [1, 10, 18, 19] создает контрастную термоаномалию БРЗ между Сибирской платформой и Централно-Азиатским складчатым поясом (см. рис. 1, Б), продуцирующую высокие приразломные теплопотоки, геотермальные поля и поверхностные выходы гидротерм. Аномально повышенные теплопотоки распределяются по крупным региональным сейсмо- и термоактивным разломам [19]. Кроме выделенных 44 термоактивных разломов на 28 разломах также зафиксировано повышение поверхностного теплового потока (ПТП) (рис. 2). Региональный тепловой поток Байкальской рифтовой зоны превышает 60 мВт/м². В южном Приангарье он составляет 40 мВт/м² и более [17, 18].

Глубоко залегающие пластовые и трещинные воды термальных месторождений по южной периферии оз. Байкал и западнее во впадинах БРЗ формируются на глубинах 2,4–5,2 км [5]. Водные запасы на освоенных термальных объектах и перспективных площадях контролируются структурами пересечения крупных региональных сейсмо- и термоактивных разломов сопутствующими поперечными сбросами. Месторождения термальных вод пространственно ассоциированы с приразломными региональными аномалиями поверхностного уходящего инфракрасного излучения протяженностью до сотни километров и более [2, 4] (см. рис. 2). Подводный разлом-сброс Черского с аномально повышенным донным тепловым потоком [5] ограничивает с севера Муринско-Выдринскую депрессию, являющуюся краевой наземной частью южной впадины оз. Байкал, перспективную для поисков. Протяженная региональная Тункино-Байкальская аномалия инфракрасного излучения объединяет выходы региональных Южно-Тункинского, Главного Саянского и Южно-Байкальского разломов (ЮБР). Блок соединения разломов и их пересечения в контуре ИК аномалии, включающий Муринско-Выдринскую депрессию (см. рис. 2), выделен как район для поисков подземного геотермального месторождения.

Методика. В геологической ситуации краевой части рифтогенной Муринско-Выдринской депрессии для изучения состава и особенностей предполагаемой подземной структуры размещения термальных вод необходим комплекс методов с использованием тепловых, электромагнитных и геохимических свойств горных пород. Контрастному повышению интенсивности уходящего поверхностного ИК-излучения придается региональное поисковое значение и применение тепловой космической съемки (ТКС) [6]. Электроразведка успешно используется для поисков геотермальных резервуаров, так как температура и солевой состав воды влияют на значения удельного электрического сопротивления обводненных и водонасыщенных

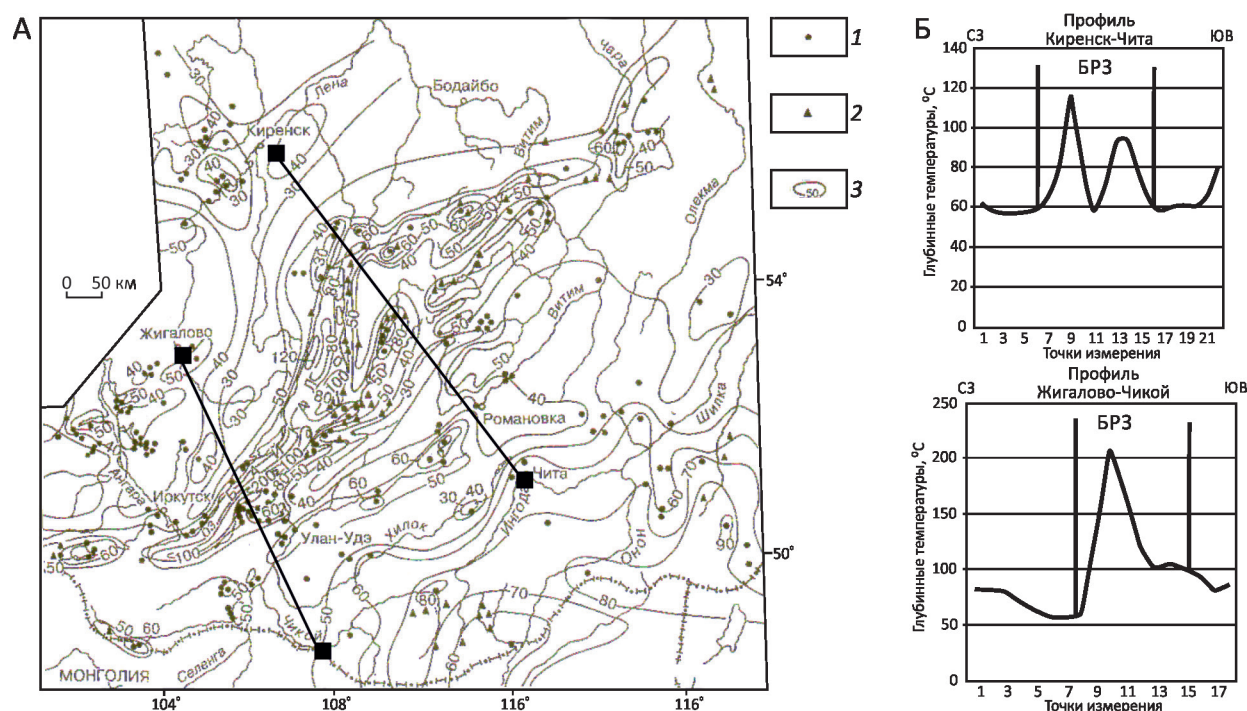


Рис. 1. Региональная геотермальная аномалия теплового потока Байкальской рифтовой зоны. С использованием работ [1, 10, 18, 19]:

А – карта теплового потока Байкальской рифтовой зоны; Б – величины теплового потока по линиям – сечениям: Киренск–Чита и Жигалово–Чикой; 1 – пункты измерения; 2 – месторождения термальных вод; 3 – тепловой поток, мВт/м²; показаны линии – сечения распределения величин теплового потока

пород, и эта зависимость является определяющим поисковым фактором для обнаружения минерализованных вод [11, 29]. Выявление ореольных тенденций распределения групп подвижных рудных элементов как геохимических индикаторов эндогенных процессов при региональных геохимических исследованиях Байкальской природной территории [3], а также на гидрогеологических массивах и геотермальных полях [4] обуславливает привлечение геохимического метода в поисковых целях.

Методика тепловой космической съемки [6] является эффективной на региональном этапе поисков при определении интенсивности уходящего поверхностного инфракрасного излучения тектонических разломов с высоким тепловым потоком, так как дает количественную оценку приразломных поверхностных теплопотерь. На сенсорных изображениях поверхности, полученных искусственными спутниками Земли серий NOAA и TERRA-EOS по тепловым каналам 8 и 10–11 мкм от радиометров AVHRR и MODIS из базы данных станции приема спутниковой информации Восточно-Сибирского научно-исследовательского института геологии, геофизики и минерального сырья (ВСНИИГГиМС) Федерального государственного унитарного научно-

производственного геологического предприятия «Иркутскнефтегеофизика», по программному комплексу ENVI. 4 на профилях подспутниковой территории измерена интенсивность уходящего поверхностного инфракрасного ИК-излучения. Рассчитан поверхностный тепловой поток F , ПТП с размерностью (мВт), соответствующий эффективному тепловому излучению поверхности разломов. В ПТП методом баланса выделены компоненты составляющих долей от почв и грунтов – F_{zp} , конденсации водяного пара – $F_{кон}$, окисления почвенно-грунтовых газов – $F_{фх}$, тепла из верхней коры – $F_{зл}$ и вклада лесных экосистем в гумидных областях – $F_{эс}$. Доля глубинной компоненты $F_{зл}$ определена как разность:

$$F_{зл} = F - (F_{zp} + F_{кон} + F_{фх} + F_{эс}). \quad (1)$$

На разломах с повышенной интенсивностью поверхностного ИК-излучения рассчитаны доли кондуктивной $F_{конд}$ и конвективной $F_{конв}$ составляющих потока [4, 26]. В восходящей ветви теплообменного цикла приповерхностной части разломов преобладает конвективный теплоперенос. На подспутниковой территории температуры грунтов до глубины 1,5 м получены штанговым электротермометром DTS 1500 с шагом между точками измерения 250 м.

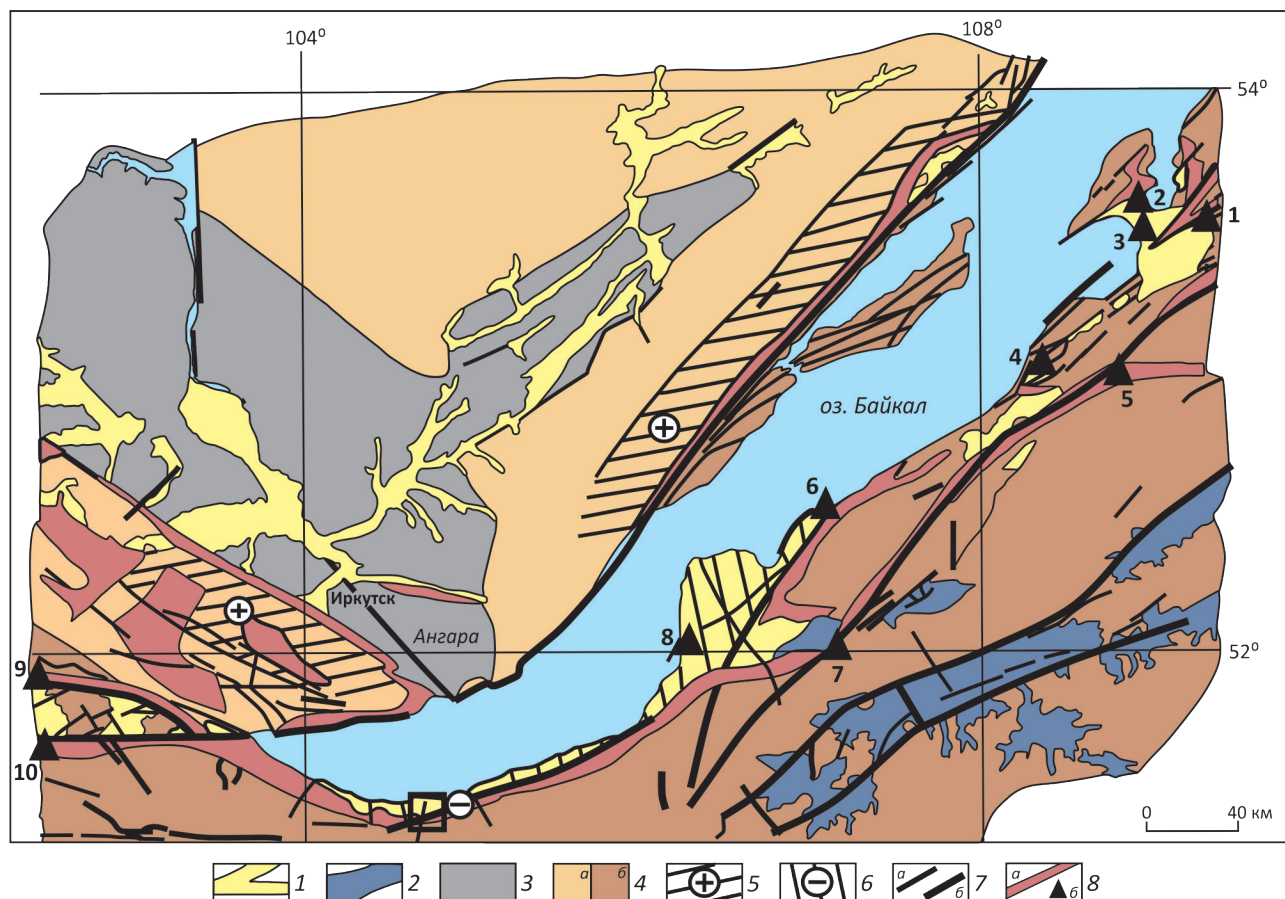


Рис. 2. Блоковая структура и термоактивные элементы Байкальской рифтовой зоны. С использованием работ [18–20]:

1–2 – депрессии: 1 – кайнозойские, 2 – мезозойские; 3 – юрский предгорный прогиб; 4 – нижний палеозой и более древние магматические и метаморфические образования: а – Сибирская платформа, б – Центрально-Азиатский складчатый пояс и Амурская платформа; 5–6 – подвижные блоки с современными перемещениями: 5 – поднимающиеся, 6 – погружающиеся; 7 – разломы: а – установленные, б – крупные региональные сейсмо- и термоактивные; 8 – приразломные региональные аномалии уходящего поверхностного ИК-излучения (а), месторождения термальных минеральных вод (б); прямоугольник – район исследований

Электромагнитные измерения в Муринско-Выдринской депрессии при исследовании подземной структуры поверхностных отложений для поисков скрытого геотермального резервуара проведены методом зондирования становлением поля ближней зоны в варианте метода переходных процессов (ЗСБ-МПП) и электромагнитного зондирования с вызванной поляризацией (ЭМЗ ВП) [7, 8, 12]. Метод ВП успешно используется в гидрогеологии [11] с привлечением эффекта поляризуемости, зависящего от минерализации подземных вод [14, 29]. С учетом стратиграфической схемы на основе 6-слойной модели рассчитан и воспроизведен геоэлектрический разрез до глубины 600 метров. В наземной магнитной съемке и измерениях естественной радиоактивности пород применялись магнитометр ММП-203 и радиометр СРП-68-01.

В геохимическом методе использовано изучение распределения концентраций рудных химических элементов, в том числе природных геотоксикантов As, Tl, Hg в поверхностных отложениях на перспективной приразломной зоне [4]. Покровные образования на разломах опробованы по системе профилей с отбором образцов массой до 500 г в почвах (перегнойно-аккумулятивный горизонт А), подпочвенных грунтах и коренных породах. В озерных отложениях образцы получены из мелких скважин глубиной до 1,2 м. Измерения температуры грунтов сопровождалась геохимическим опробованием. На участке поисков расположение проб на профилях соответствовало сети 300×300 м. В аттестованных лабораториях ИГХ СО РАН сорбционно-активные фракции почв и грунтов –0,1 мм изучены методами: РФА, оптическим, эмиссионным, спектральным

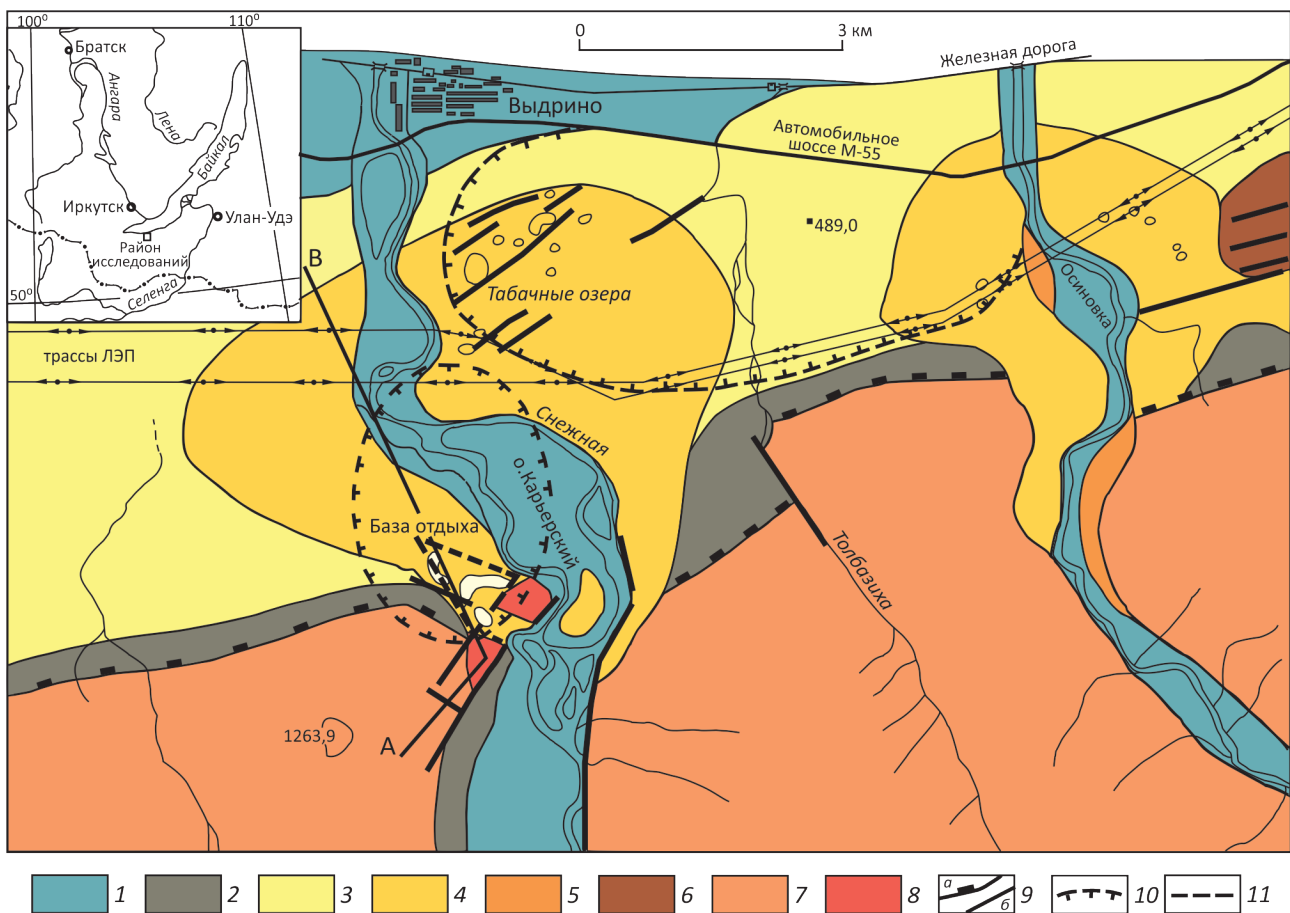


Рис. 3. Геологическая схема краевой части Муринско-Выдринской депрессии:

1–6 – поверхностные отложения, кайнозой: 1 – аллювий, 2 – делювий, суглинки, суглинки с гравием и дресвой, 3 – переотложенный флювиогляциальный валунно-галечно-глинистый материал, 4 – ледниковые отложения, морена, 5 – шанхайская свита, мелкогалечники, пески, 6 – танхойская свита, тонкослоистые пески, алевролиты, угленосные отложения; 7–8 – фундамент: 7 – верхний рифей: гнейсы, мигматиты корниловской свиты хамар-дабанской серии, 8 – биотитовые, лейкократовые граниты, пегматиты; 9 – разломы: а – ЮБР, б – сопутствующие сбросы; 10 – повышение температуры грунтов; 11 – участок поисков геотермального резервуара; А–В – геологический разрез; на врезке – расположение района исследований

и атомно-абсорбционным. В пробах воды из водоемов и водных источников проведен общий химический анализ, включая распределение Hg. Концентрации рудных элементов-микропримесей определены методом ICP MS. Полевые геолого-структурные наблюдения сопровождались изучением дополнительных материалов радарной съемки поверхности ИС ALOS-Palsar и COSMO-SkyMed.

Результаты. Трассы термоактивных разломов отслеживаются непрерывными максимумами интенсивности уходящего ИК-потoka, значения которого достигают 55 мВт/м²·ср·мкм в диапазоне 8,2–10 мкм (по данным ИС NOAA, спутники 16, 18, сенсор AVHRR) и ИС системы TERRA-EOS с сенсором MODIS в том

же ИК-диапазоне [2, 4, 26]. Сейсмо-, термоактивные разломы ограничивают подвижные периферические блоки южной рифтовой впадины оз. Байкал с вертикальными скоростями перемещения на протяжении от голоцена до 30 мм/г (см. рис. 2). На южной и юго-западной погружающейся части Муринско-Выдринской депрессии шириной до 13 км пологая ступенчатая прибрежная холмистая равнина соединяется с крутым тектогенным склоном передового хребта горной системы Хамар-Дабана (рисунки 3, 4). Край депрессии ограничен сместителем регионального сейсмоактивного Южно-Байкальского разлома с субширотным простиранием. Геологическая структура депрессии сформирована литологическими формациями: кайнозойской,

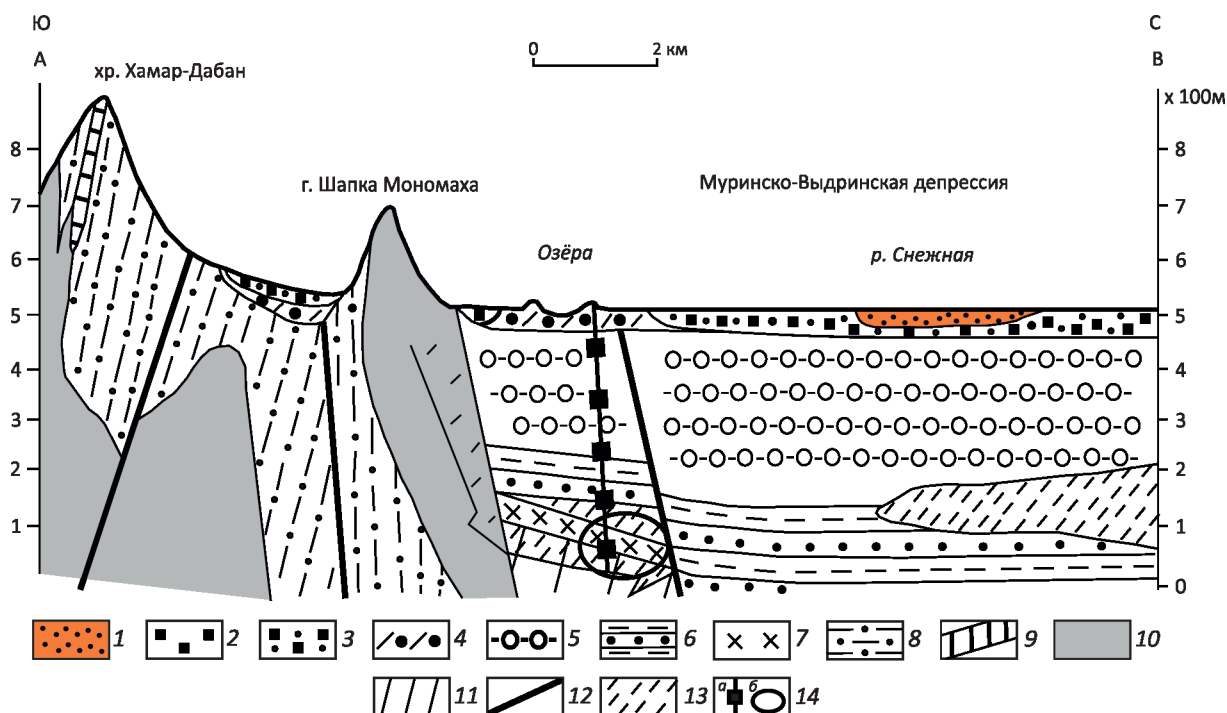


Рис. 4. Геологический разрез краевой части Мурынско-Выдринской депрессии по линии А–В:

1–5 – четвертичные отложения: 1 – аллювий, 2 – материал подножий склонов, пролювий, 3 – отложения водно-ледниковые, 4 – отложения ледниковые, морена, 5 – шанхайхинская свита, мелковалунные галечники, пески; 6 – верхнетретичные отложения, танхойская свита, переслаивание слабо угленосных песков, алевролитов; 7 – мел-палеоген, кора выветривания; 8–10 – блок хр. Хамар-Дабан: 8 – верхний рифей, корниловская свита, гнейсы, мигматиты, 9 – слои мраморов, 10 – хамардабанский интрузивный комплекс: граниты лейкократовые, биотитовые, пегматиты; 11 – фундамент депрессии; 12 – разломы; 13 – направление гидравлического напора; 14 – рекомендуемая поисковая буровая скважина (а), предполагаемое расположение геотермального резервуара (б)

континентальной – в осадочном чехле и верхнерифейской, метаморфической – в фундаменте и массиве Хамар-Дабана. Их разделяет мел-палеогеновая кора выветривания предбайкальского пенепплена, представленная реликтами в южном Прибайкалье [21, 26] (табл. 1). В южном направлении от берега оз. Байкал пояс прибрежно-аллювиальных отложений и долинного аллювия рек Снежная и Осиновка сменяется преобладающими флювиогляциальными и ледниковыми отложениями предгорной равнины. На ней степень преобразования рельефа конечных морен увеличивается в западном направлении. Несортированный валунно-глыбовый материал морены сменяется делювиально-пролювиальными суглинками и глыбово-обломочными шлейфами вдоль подножья передового хребта. Срединная часть депрессии сложена толщей грубого переслаивания мелковалунных галечников и крупнозернистых песков, относимых к шанхайхинской свите эоплейстоцена [21]. В восточной части планшета расположены подстилающие тонкослоистые песчано-глинистые отложения с углефицированными фрагментами растительного

детрита танхойской свиты неогенового, миоценового осадочного комплекса [21], к югу перекрытые морской, а к северу – флювиогляциальными отложениями. На площади поисков термальных вод глубина их залегания более 200 м (см. рисунки 3, 4).

Метаморфическая формация фундамента и горного массива хребта представлена гранат-биотитовыми гнейсами с графитом корниловской свиты хамардабанской серии верхнего рифея, соответствующими амфиболитовой фации (изограда силлиманита) зонального хамардабанского метаморфического комплекса, с отдельными 15–20 м прослоями мраморов. В гнейсах расположены мигматиты, автохтонные тела биотитовых гранитов и аллохтонные лейкограниты хамардабанского интрузивного комплекса. На хребте в метаморфитах залегают жилы и мелкие интрузии блоковых, зональных и миароловых пегматитов одноименного пегматитового пояса. Лейкограниты, содержащие гранат-альмандин и шерл, включают субдайки порфировидные разновидности и метасоматические олигоклазиты с крупными шлирами биотита.

1. Стратиграфическая колонка покровных отложений и фундамента Муринско-Выдринской депрессии

Эра	Система	Отдел	Комплексы, свита	Мощность, м	Литологический состав
Кайнозойская	Четвертичная	Голоцен	Современный	не более 15	Аллювий: русла, поймы, террасы
				до 12	Дельтовый, пролювий: суглинки, глыбы, обломки
		Ранний		до 30	Флювиогляциал, переотложенная морена
				до 50	Конечные, краевые морены: пески, супеси, суглинки, валунно-глыбовый материал
	Третичная	Эоплейстоцен	Шанхаихинская свита	до 300	Пески, мелковалунные галечники, валунники
		Неоген, плиоцен	Танхойская свита	100–200 200–300	Тонкослоистые пески крупно-, мелкозернистые глинистые, алевролиты Тонкослоистые глинистые пески, угленосные алевролиты
Мезозойская	Мел (?)	Палеоген+мел (?)	Пенеппен	до 60	Кора выветривания на субстрате фундамента, валунники, галечники, крупнозернистые пески
Протерозойская	Верхний рифей–венд	Хамар-дабанская серия	Корниловская свита	800–1000	Гранат-биотитовые гнейсы с силлиманитом, кордиеритом и графитом, мигматиты, прослои среднезернистых полосчатых мраморов

Тектоническая структура краевой части депрессии сформирована на пересечении Южно-Байкальского разлома со Снежинским и сопутствующими сбросами (см. рис. 3). На юго-западном крае депрессии, совмещенном с зоной сместителей ЮБР, распространен особый рельеф отчлененных гор-отторженцев в виде раздвинутых островершинных массивов. Смещенное тектоническое происхождение этих блоков отмечено в [24]. Ущелье р. Снежная заложено по зоне тектонической трещиноватости Снежинского сброса. Небольшие сбросы, сопутствующие ЮБР, ограничивают выступ пород танхойской свиты и распределяют мелкие грабены с термокарстовыми озерами. Современная сейсмическая активность проявлена новейшими сбросовыми сейсмодислокациями на северной границе Южно-Байкальской сейсмической зоны с эпицентрами 9-балльных землетрясений по шкале MSK-64 [28] и сопутствующими полями катастрофических обвалов и селей в ущелье р. Снежная.

Интенсивность уходящего поверхностного ИК-излучения, представленная значениями яркостной температуры ($T_{\text{ярк}}$), является измеряемым параметром термоактивности Южно-Байкальского разлома (рис. 5). Центральная термозона с наибольшими $T_{\text{ярк}}$ и, соответственно, поверхностным ИК-теплопотоком в основании хребта Хамар-Дабан и на его передовом склоне располагается по сместителю ЮБР в виде протяженного регионального поверхностного ИК-термомаксима. Температуры грунтов измерены по его северной границе на пересечении ЮБР поперечным Снежинским сбросом (см. рисунки 3, 4, 5). Из первичной выборки 65 измерений при анализе распределения повы-

шений грунтовых температур на графике зависимости «температура, $T^{\circ}\text{C}$ – глубина, h , м» получена группа точек с трендом:

$$T^{\circ}\text{C}_{\text{грунт}} = 7,9566 \cdot h^{0,8208} \quad (2)$$

со средним значением $T^{\circ}\text{C}_{\text{грунт}} = 8,27 \pm 1,1^{\circ}\text{C}$ и коэффициентом корреляции $r = 0,55$, статистически выделяющая локальное превышение температуры грунтов в 2 точках на границе центральной термозоны и в 17 точках грунтов между реками Снежная и Осинковка (см. рис. 3).

Грунтовые воды залегают в верхних, а предполагаемые термальные воды по аналогии с соседствующим Усть-Селенгинским артезианским бассейном [25] в глубинных частях разреза кайнозойских отложений Муринско-Выдринской депрессии. При водоснабжении используются воды, получаемые из скважин глубиной от 10 до 30 м, не выходящих за пределы мощности голоценовых флювиогляциальных и моренных отложений. Распределение водоносных горизонтов в этой части разреза, определенное методом вертикального электрического зондирования (ВЭЗ) (табл. 2), ограничивается водоупором на глубине более 50 м. Природные воды депрессии существенно различаются по водородному показателю pH, содержанию растворенного кремнезема, ионов гидрокарбоната и кальция, минерализации и электропроводности соответственно их происхождению. Анализ состава и свойств природных вод приведен в [26]. Подземные воды зон разломов содержат повышенные концентрации В, Hg, As. В приразломных карстовых гидрокарбонатно-кальциевых водах с минерализацией 400 мг/дм³ и более концентрации ртути увеличиваются до 0,042 мкг/дм³.

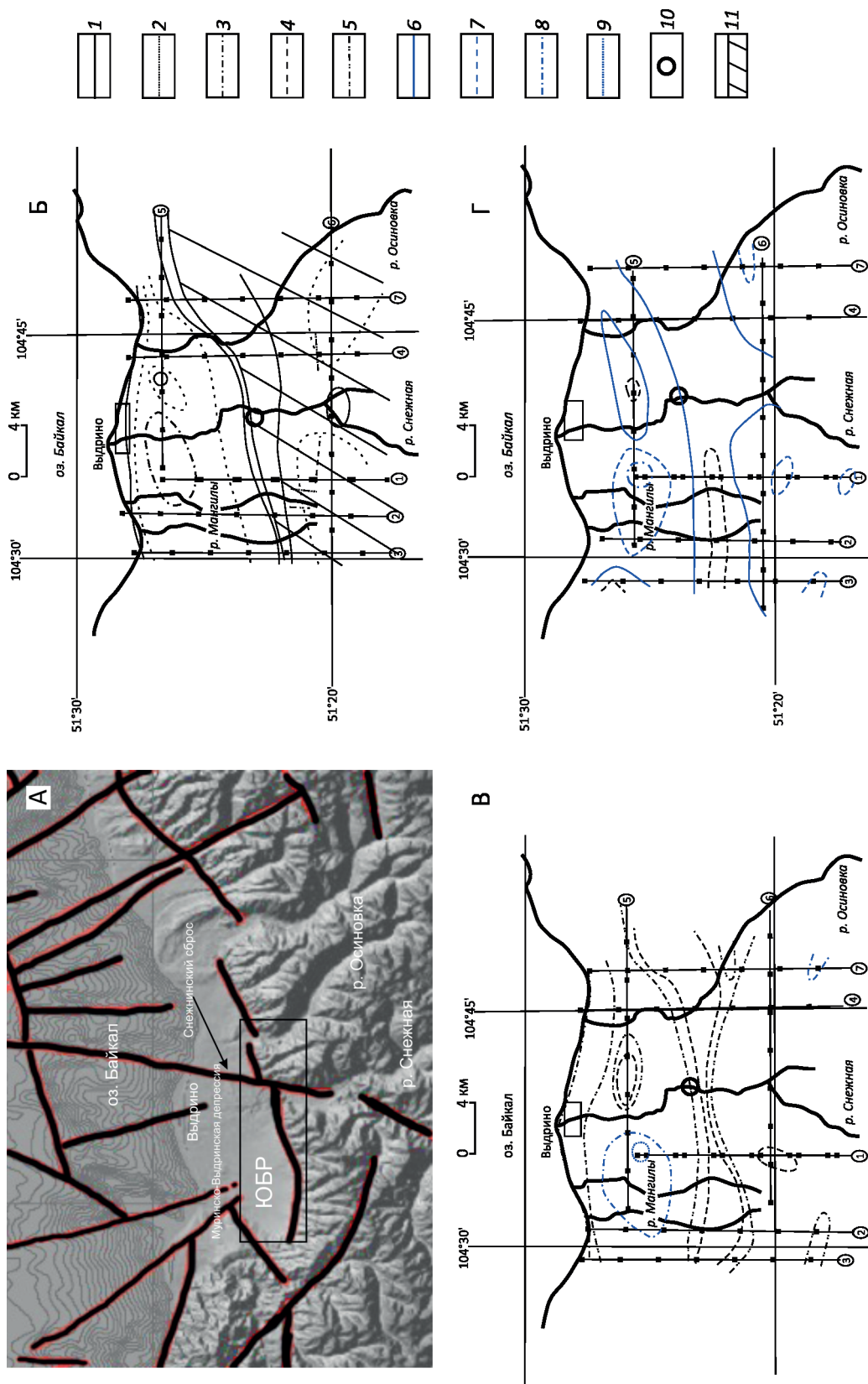


Рис. 5. Схема распределения яркостных температур аномального инфракрасного поверхностного излучения Южно-Байкальского регионального разлома на южном кон-
туре Муринско-Выдринской депрессии по данным ИС EOS:

А – структура разломов депрессии [20]; прямоугольник – участок проведенных исследований; Б – сцена измерений в пролете 4.10.2012 г.; В – сцена измерений в пролете 14.11.2012 г.; Г – сцена измерений в пролете 8.12.2012 г.; 1–8 – изотермы яркостной температуры, 3 – 270, 4 – 253, 5 – 252, 6 – 245, 7 – 240, 8 – 239; 9 – но-
вейшие сейсмодислокации; 10 – северная граница сейсмоактивной зоны; 11 – участок поисков геотермального резервуара электромагнитными методами; линии с цифрами в
кругах соответствуют профилям измерения яркостной температуры поверхности по данным ТКС; точки – пункты определения $T_{\text{ярк}}$.

2. Геоэлектрическая дифференциация морены и флювиогляциала по данным ВЭЗ

УЭС, Ом·м	Глубина залегания слоя, м	Мощность слоя, м
338	1,1	0,5
52	2,4	1,3
1165	6,7	4,4
154	13,8	7
1009	16,5	30,3
145	55,3	25
2833	60	>20

Водные растворы, дренирующие зону Южно-Байкальского разлома, содержат повышенные концентрации В, Нг, As. В воде моренного озера на сместителе разлома повышены содержания как петрогенных компонентов (литий, бор, алюминий, фосфор, барий), так и подвижных рудных элементов (бериллий, ванадий, хром, марганец, железо, кобальт, никель, германий, мышьяк, серебро, кадмий, таллий, свинец и вольфрам). Вследствие водопитока по разлому в озерной воде десятикратно увеличены концентрации Mn, Be, As и более чем двукратно у Cd, Co, Sb, Bi, Tl, F, а в донных илах – содержания As, Hg, Cl, Br. В пробах грунтов вдоль Южно-Байкальского разлома (см. рис. 3) увеличены содержания ртути, мышьяка и бора, а также свинца и цинка. В торфах увеличиваются концентрации меди, ртути и таллия, а в донных илах – бора, свинца, олова и серы. Зона разлома, ограничивающая депрессию, на поперечных профилях (см. рис. 3) фиксируется контрастом γ -радиоактивности. При пересечении трассы сместителя ЮБР γ -радиоактивность повышается от пород осадочного чехла с $\gamma=8,87$ мкр/час $\pm 0,33$ до $11,62\pm 0,65$ мкр/час в гнейсах корниловской свиты

риффея, слагающей выход фундамента на передовом склоне Хамар-Дабана. Напряженность магнитного поля (Н), измеренная в поперечных профилях, при изучении структурной неоднородности на сместителе разлома (см. рис. 3) достигает 600 030 нТл (наноТесла). Это на 150–270 нТл выше, чем в крыльях нарушения с образованием протяженной приразломной зоны увеличений напряженности шириной до 300 м.

В принятой физико-геологической модели горизонтально слоистой среды осадочного чехла и верхней части фундамента при интерпретации данных электромагнитных методов использовано распределение величин удельного электрического сопротивления (УЭС) по литологическим разновидностям разреза (см. табл. 1). Геоэлектрические параметры модели включают кроме УЭС (ρ , Ом·м), поляризуемость (η , %) и время релаксации (τ , сек) (табл. 3). С измеренными параметрами разреза и базой данных в программном комплексе «MARS 1D» рассчитаны функции для геоэлектрических разрезов (рис. 5), представленные в значениях логарифмов ρ , η и τ по профилям над областью повышенной проводимости пород на границе фундамента и осадочного чехла.

Горизонт с сопротивлениями в пределах $60\div 20$ Ом·м на глубинах от 200 до 400 м содержит локальные понижения УЭС до $10\div 6$ Ом·м на северо-западном и юго-восточном краях профилей измерения (рис. 6). Он перекрыт высокоомными галечниками, мореной и флювиогляциальными отложениями. В юго-восточной части разреза на глубине 300–400 м расположен блок пород протяженностью до 300 м с УЭС от 20 до 6 Ом·м и ниже с поляризуемостью менее 20–10%. Ниже 400 м в фундаменте чередуются блоки с УЭС=3000–4000 Ом·м и более проводящие, в которых $\rho=60$ –100 Ом·м при значительном снижении поляризуемости. 200-метровый интервал разреза с минимальными значениями ρ и η представлен обводненными

3. Геоэлектрические параметры модели

Литология слоя	Пределы изменений УЭС, в знаменателе – применяемое значение, Ом·м	η , %	τ , сек	c	H , м
Глыбово-обломочный валунник, супеси, суглинки	$\frac{90-2000}{1000}$	60	0,01	0,5	80
Галечники, пески	$\frac{80-500}{250}$	30	0,01	0,5	150
Глинистые слоистые пески, слабоугленосные суглинки	$\frac{10-50}{50}$	10	0,01	0,5	250–300
Мелковалунные галечники, грубозернистые пески	$\frac{5-800}{500}$	20	0,01	0,5	50
Гранат-биотитовые гнейсы, слабо графитизированные	$\frac{100-3000}{1000}$	50	0,01	0,5	200
Гнейсы с рассеянной вкрапленностью пирротина	$\frac{50-1500}{200}$	80	0,01	0,5	200

Примечание. c – показатель степени в формуле Коула-Коула (Cole-Cole) [11, 14], H – мощность слоя.

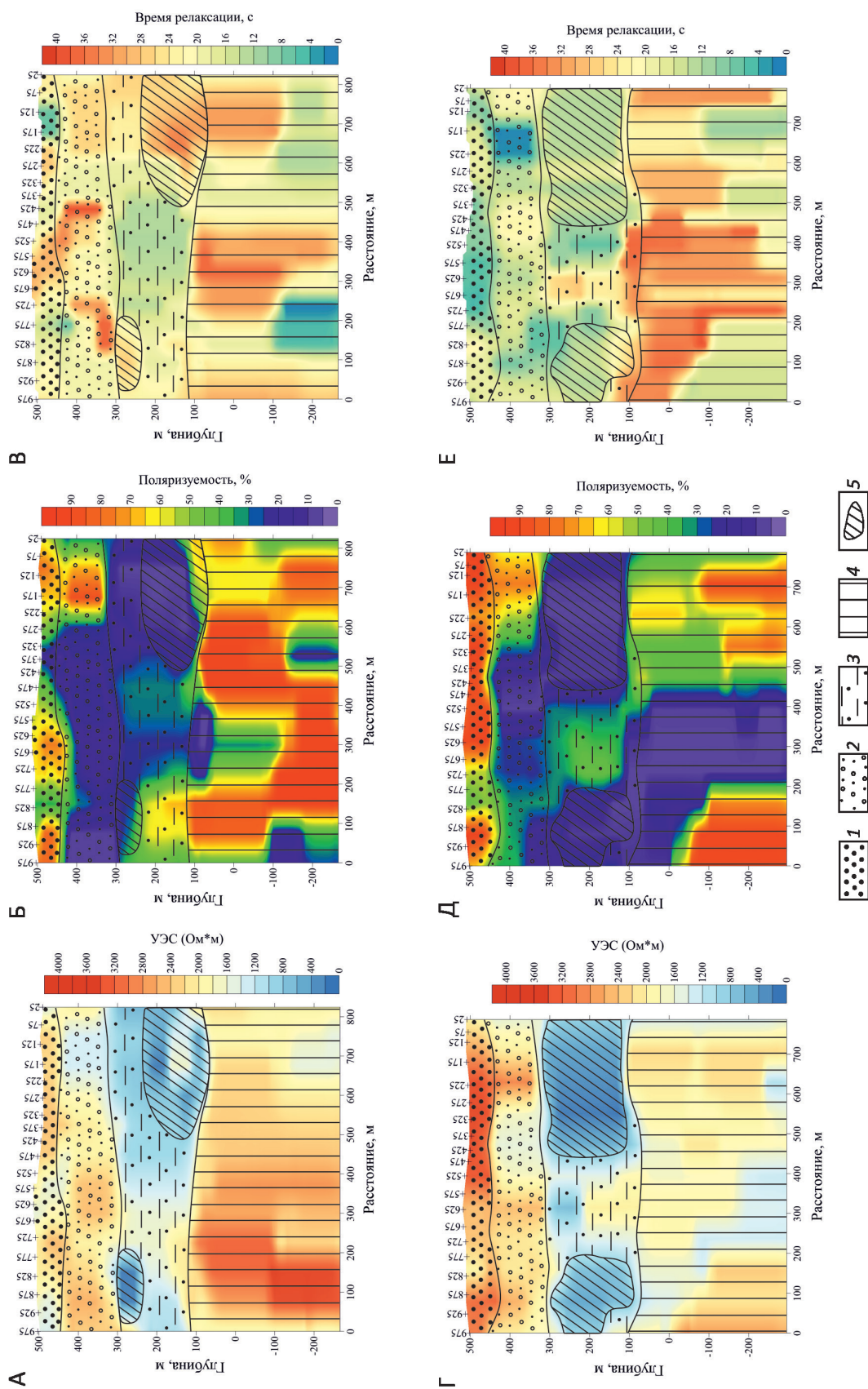


Рис. 6. Геоэлектрические разрезы на участке поисков:

А, Г – распределение значений удельного электрического сопротивления; Б, Д – распределение значений поляризуемости; В, Е – распределение значений времени релаксации; 1–3 – кайнозойские отложения: 1 – флювиогляциальные и ледниковые отложения, 2 – пески, мелкогалунные галечники, валуны, шанхайская свита, 3 – тонкослоистые глинистые, мелко- и среднезернистые пески, слабо угленосные алевролиты, танхойская свита; 4 – фундамент, рифей, хамардабанская серия, корнеловская свита, гнейсы, мигматиты, отдельные прослои мраморов; 5 – блоки, содержащие минерализованные воды; остальные услов. обозн. см. рис. 3

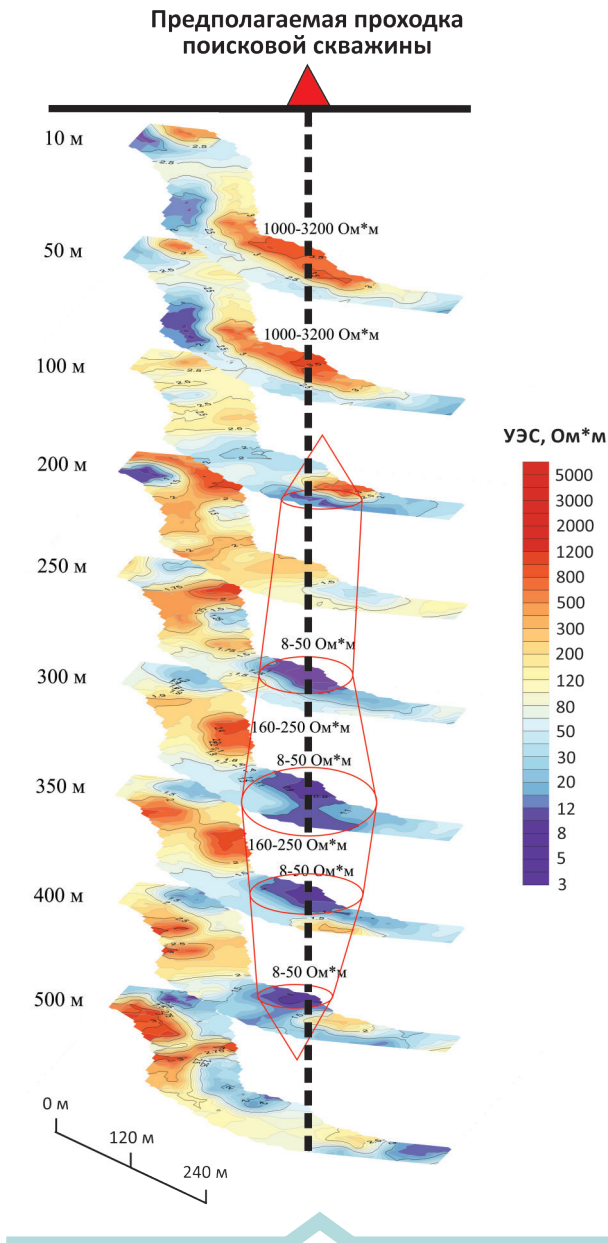


Рис. 7. Пространственное расположение геотермального резервуара в блоке с минимальными удельными сопротивлениями:

пунктир – ствол рекомендуемой поисковой буровой скважины

неогеновыми отложениями и трещинным подземным геотермальным резервуаром в приразломной зоне, термальная активность которой подтверждена данными ТКС и наземными измерениями. «Островное» снижение поляризуемости в подморенных галечниках с УЭС около 600–700 Ом·м обусловлено дискретным присутствием линз пресных грунтовых вод.

Эффективность методов, использованных для оценки геотермальных ресурсов. При геологической съемке и электромагнитных исследованиях установ-

лено, что кровля отложений неогена в блоке западной части Муринско-Выдринской депрессии погружена на 270–300 м при скорости опускания 11–25 мм/г, определенной по степени переработки раннеголоценового моренного рельефа (см. рисунки 2, 3). На границе с сопряженным поднятым массивом хр. Хамар-Дабан вдоль трассы Южно-Байкальского разлома расположена региональная приразломная Южно-Байкальская аномалия уходящего поверхностного ИК-излучения. В районе локализации подземного термального резервуара ширина центральной термозоны контрастно сужается до 1–2 км (см. рисунки 3, 5) при увеличении плотности уходящего теплового потока до удельной мощности 14,435 кВт/км². На фронте центральной термозоны температуры грунтов на глубине ≥ 1 м превышают на 3,5–4°C температуры фона грунтов предгорной равнины. Зависимость логарифма контрастности уходящего поверхностного ИК-потока – $\lg K_{нт}$, Вт/км на термомаксимум, равно отношению мощности потока к ширине экстремума от сейсмичности Sm (балл), по шкале MSK-64 [28] выражается корреляционным уравнением:

$$\lg K_{нт} = -0,0504Sm^2 + 0,8357Sm - 6,6196. \quad (3)$$

Увеличение сейсмоактивности повышает интенсивность уходящего поверхностного ИК-потока с увеличением поверхностного теплового потока до 371 мВт и проявлением сопутствующих геохимических потоков мышьяка, таллия и ртути до 2,273, 0,275 и 0,007 кг·км²/год соответственно, которые являются аномальными приразломными геохимическими индикаторами и отмечают поверхностную проекцию подземного геотермального резервуара, локализованного в низах неогеновой осадочной толщи на границе с фундаментом.

Объем резервуара, выделяемый по структуре распределения значений УЭС (рис. 7), содержит зону увлажнения ($\rho \leq 20$ Ом·м) с кровлей на глубине около 150 м и проводящую зону обводнения ($\rho \leq 10$ Ом·м) в интервале глубин 275–400 м. К северо-западу располагается меньший по размерам объем проводящих пород. В кровле гнейсогранитного фундамента при глубине более 450 м проявлен соседний блок низких УЭС. Геоэлектрические свойства проводящих блоков обусловлены повышенной трещиноватостью пород, содержащих минерализованные термальные воды. Вмещающий трещинно-поровый коллектор, залегает под моренным холмом (см. рис. 4) в глубинной части разреза неогена с низким УЭС. «Корневая» часть резервуара проникает по трещиноватости в фундамент на 200–300 м (см. рисунки 6, 7). Параметры измерений (ρ , η и τ) отображают структурно неоднородный гнейсовый массив с обводненными трещинными зонами. В четвертичных отложениях холодные пресные грунтовые воды приурочены к песчано-галечным линзам с повышенным ρ и малой поляризуемостью η .

Зона увлажнения в кровле геотермального резервуара расположена на глубине около 175 м (см. рис. 6),

а водосодержащий блок с $\rho \leq 8$ Ом·м находится ниже 250 м при вертикальной протяженности до 420–430 м. Рассматриваемая часть резервуара аппроксимируется как цилиндр с эллипсоидного сечения при среднем диаметре $121 \pm 15,6$ м и объеме $853\,125$ м³. Рассчитанный коэффициент пористости обводненного блока получен по соотношению параметра пористости (P_n), предложенному в работе [9]:

$$P_n = \rho_{\text{вп}} / \rho_{\text{в}} \quad (4),$$

где $\rho_{\text{вп}}$ – удельное сопротивление обводнённой породы, $\rho_{\text{в}}$ – удельное сопротивление минерализованной воды. Удельное электрическое сопротивление вод, определенное в источниках горячих минеральных вод центральной экологической и буферной зон Байкальской природной территории [4, 26], равно $1,59 \pm 0,143$ Ом·м, а среднее сопротивление пород в зоне обводнения около $7,94$ Ом·м ($\lg \rho = 0,9$). Вычисленный параметр пористости составляет: $P_n = 7,943 / 1,591 = 4,9924 \approx 5$. Коэффициент пористости k в породах геотермального резервуара 36% определен по стандартным кривым зависимости P_n для сцементированных песчаных коллекторов [9].

В результате проведенного поисково-оценочного изучения рассчитаны количественные показатели запасов резервуара с привлечением метода аналогий по средним параметрам термальных месторождений восточного побережья оз. Байкал и Усть-Селенгинского артезианского бассейна [25]. Прогнозный потенциал подземного термального резервуара включает:

интервал залегания верхней кромки резервуара 100–200 м;

форма для геометризации: усеченно-конусный цилиндр;

протяженность на глубину 300 м;

средний диаметр $121,38 \pm 15$ м;

средний радиус 60,7 м;

средняя площадь поперечного сечения $11\,575,2$ м²;

объем резервуара $3\,472\,560$ м³;

параметр пористости 5;

коэффициент пористости 36%;

водный запас $1\,250\,121,6$ м³;

масса водного запаса $1\,300\,126,5$ т;

прогнозируемый дебит водопритока $8,6 \pm 4,55$ л/с;

прогнозируемая температура воды 30°C ;

прогнозируемый состав воды – азотно-метановый кальциево-натровый бикарбонатно-сульфатный;

прогнозируемая тепловая мощность скважины $539,365$ кВт.

Рассчитанный прогноз приближенно соответствует категории P_3 . В ближайшей перспективе при заложении 500-метровой поисково-эксплуатационной скважины и последующей постановке буровых поисково-оценочных работ с целью изучения запасов всего геотермального месторождения сформируется положительная оценка более масштабных геотермальных ресурсов южного и юго-западного флангов Муринско-Выдринской депрессии.

В заключение следует отметить, что актуальная задача обнаружения подземных месторождений минерализованных и геотермальных вод южного Прибайкалья получает положительное решение в исследованиях с комплексом поисковых методов, включающих структурно-геологический, геохимический, дистанционный способ ТКС и наземные детальные электромагнитные измерения. Подземный блок с рассчитанными прогнозными запасами геотермального месторождения выделен в Муринско-Выдринской депрессии при использовании такого комплекса. Контролирующая тектоническая зона на пересечении субмеридионального Снежинского сброса со сместителем сейсмо- и термоактивного ЮБР содержит приразломный повышенный теплоток, обнаруживаемый средствами дистанционного зондирования Земли, ДЗЗ и массоперенос в геохимических потоках. На выделенной площади по результатам электромагнитных измерений даются прогнозные запасы подземных термальных вод в трещинной области северо-восточного простирания, опирающейся ЮБР. Последующая оценка геотермальных резервуаров в Муринско-Выдринской депрессии связана с проведением буровых работ. Проходка поисковых скважин экономически оправдана вследствие востребованности геотермальных ресурсов и их технической доступности с применением теплонасосных технологий. Задача продолжения изучения термального месторождения актуальна в аспекте развития энергетической инфраструктуры индустриально-рекреационного центра в районе г. Байкальск-пос. Выдрино и в целом для южного Прибайкалья Иркутской области.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Актуальные вопросы современной геодинамики Центральной Азии* // Под ред. К.Г.Леви, С.И.Шерман. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2005.
2. *Вилор Н.В., Минько Н.П.* Инфракрасное излучение Саяно-Байкальской горной области и Байкальской рифтовой зоны по данным спутникового мониторинга // Доклады РАН. 2001. Т. 379. № 5. С. 666–669.
3. *Геохимия окружающей среды Прибайкалья*. Байкальский геоэкологический полигон // В.И.Гребенщикова, Э.Е.Лустенберг, Н.А.Китаев, И.С.Ломоносов. – Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2008.
4. *Геохимия сейсмоактивных региональных разломов (Байкальская рифтовая зона, Восточная Сибирь)* / Н.В.Вилор, Л.Д.Андрулайтис, О.В.Зарубина, Б.С.Данилов // Геохимия. 2015. №1. С. 64–82.
5. *Голубев В.А.* Кондуктивный и конвективный вынос тепла в Байкальской рифтовой зоне. – Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2007.
6. *Горный В.И., Шилин Б.В., Ясинский Г.И.* Тепловая аэрокосмическая съемка. – М.: Недра, 1993.
7. *Давыденко Ю.А.* Перспективы использования индукционной составляющей переходного процесса в традиционных методах постоянного тока // XIV Уральская

- молодежная научная школа по геофизике. Сборник научных материалов. – Пермь: ГИ УрО РАН, 2013. С. 74–83.
8. Давыденко Ю.А., Попков П.А., Новопашина А.В. Перспективы использования индукционной составляющей переходного процесса в традиционных методах постоянного тока // Геофизические исследования. 2015. Т. 16. № 4. С. 73–84.
 9. Дахнов В.Н. Геофизические методы определения коллекторских свойств и нефтегазонасыщения горных пород. – М.: Недра, 1975.
 10. Дучков А. Д., Соколова Л.С. Атлас геотермических карт Сибири. – Новосибирск, 2000.
 11. Жданов М.С. Электроразведка. – М.: Недра, 1988.
 12. Кожневиков Н.О. Некоторые особенности структуры Приольхонья по данным электроразведки (западное Прибайкалье) // Геология и геофизика. 1998. Т. 39. № 2. С. 271–276.
 13. Кустов Ю.И., Лысак С.В. Термальные воды юга Восточной Сибири // Геология и геофизика. 2000. Т. 41. № 6. С. 880–895.
 14. Крылов С.С. Геоэлектрика: Поля искусственных источников: Учебное пособие. – СПб.: Изд-во Санкт-Петербургского университета, 2004.
 15. Ломоносов И.С. Геохимия и формирование современных гидротерм Байкальской рифтовой зоны. – Новосибирск: Наука, 1974.
 16. Ломоносов И.С., Кустов Ю.А., Пиннекер Е.В. Минеральные воды Прибайкалья. – Иркутск: Восточно-Сибирское книжное изд-во, 1977.
 17. Лысак С.В. Геотермические условия и термальные воды южной части Восточной Сибири. – М.: Наука, 1968.
 18. Лысак С.В. Тепловой поток континентальных рифтовых зон. – Новосибирск: Наука, 1988.
 19. Лысак С.В. Тепловой поток в зонах активных разломов на юге Восточной Сибири // Геология и геофизика. 2002. Т. 43. № 8. С. 791–803.
 20. Лунина О.В., Гладков А.С., Шерстянкин П.П. Новая электронная карта активных разломов юга Восточной Сибири // ДАН. 2010. Т. 411. № 5. С. 662–667.
 21. Мац В.Д., Уфимцев Г.Ф., Мандельбаум М.Н. Кайнозой Байкальской рифтовой впадины. Стратиграфия и геологическая история. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2001.
 22. Минеральные воды южной части Восточной Сибири // Под ред. В.Г.Ткачук, Н.И.Толстихина. – М.–Л.: Изд-во АН СССР, 1961. Т. 1.
 23. Мороз М.В., Толстой М.Ю., Н.В.Вилор. Вариант конструкции первой в Восточной Сибири геотермальной станции для теплоснабжения курорта «Горячинск» (Бурятия) // Вестник ИрГТУ. 2011. № 9. С. 162–168.
 24. Опасные геологические процессы в юго-западном Прибайкалье // В.К.Лапердин, К.Г.Леви, И.С.Имаев, В.Г.Молочный. – Иркутск, 2016.
 25. Перспективы поисков термальных вод в Усть - Селенгинском артезианском бассейне / П.С.Бадминов, А.В.Миро-манов, А.И.Оргильянов и др. // Подземная гидросфера. – Иркутск: Изд-во «ООО Географ», 2012. С. 285–288.
 26. Сейсмическая и геотермальная активность региональных разломов (южное Прибайкалье, Восточная Сибирь / Н.В.Вилор, А.В.Миромапов, М.Ю.Толстой и др. // Гео-экология. 2016. № 2. С. 81–90.
 27. Экономические параметры геотермальной установки теплоснабжения на рекреационном объекте в охраняе-мой природной зоне / М.Ю.Толстой, Н.В.Вилор, А.В.Со-болеву, М.В.Мороз // Проблемы освоения минеральной базы Восточной Сибири. – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2012. Вып. 12. С. 103–110.
 28. Хромовских В.С. Сейсмогеология южного Прибайкалья. – М.: Наука, 1965.
 29. Spichak V.V., A.Manzella Electromagnetic sounding of geothermal zones. Journal of Applied Geophysics. 2009. Vol. 68. P. 459–478.

Палеогеография и палеобиогеография ранней юры (геттанг–плинсбах) по брахиоподам

В.С.ГРИНЕНКО, В.В.БАРАНОВ (Институт геологии алмаза и благородных металлов Сибирского отделения Российской академии наук (ИГАБМ СО РАН); 677980, г. Якутск, проспект Ленина, д. 39)

Установлено, что в ранней юре (геттанг–плинсбах) палеогеография Земли была представлена тремя суперконтинентами – Афалией, Пацифидой и Аразией – и двумя континентами – Гипербореей и Антарктидой, которые были разделены мелководными шельфовыми бассейнами, соединяющимися между собой. На основании анализа пространственно-временного распространения раннеюрских брахиопод выделены три палеозоохории высшего ранга: Экваториальная, Бореальная и Натальные надобласти. Экваториальная надобласть характеризуется наивысшим таксономическим разнообразием и подразделяется на Альпийско-Меланезийско-Китайскую, Западно-Южно-Американскую биогеографические области. На крайнем юге расположен Мадагаскарский биостратиграфический район. В ее состав также входят Невадская провинция Западно-Северо-Американской области и Новокаледонская провинция Новозеландско-Новокаледонской области. В пределах Альпийско-Меланезийско-Китайской области выделены Альпийско-Кавказская, Меланезийская и Китайско-Японская провинции. В составе Бореальной надобласти установлены Сибирско-Аляскинская и Западно-Канадская области. Обособленно расположен Гренландский биогеографический район. К Натальной надобласти относится только Новозеландская провинция Новозеландско-Новокаледонской области.

Ключевые слова: палеогеография, палеобиогеография, Пацифида, Аразия, Афалия, Гиперборея, Антарктида, ранняя юра, плинсбах, геттанг, брахиоподы.

Гриненко Виталий Семенович
Баранов Валерий Васильевич



grinenkovs@diamond.ysn.ru
vbaranov@diamond.ysn.ru

Paleogeography and paleobiogeography of the Early Jurassic (Hettangian-Pliensbachian) as derived from brachiopods

V.S.GRINENKO, V.V.BARANOV (Diamond and Precious Metal Geology Institute of the Siberian Branch of the RAS)

It is shown that in the Early Jurassic (Hettangian-Pliensbachian) paleogeography of the Earth was represented by three supercontinents – Afalia, Pacifida, Arasia – and two continents – Hyperborea and Antarctica, which were separated by interconnecting inland shelf sea basins. Based on the study of spatial-temporal distribution of the Early Jurassic brachiopods three first-order paleozoochore were differentiated: Equatorial, Boreal, and Natal Realms. The Equatorial Realm is characterized by the highest taxonomic diversity and is divided into the Alpine-Melanesian-Chinese and Western South American biogeographical subrealms. In its southern extremity Madagascar biostратigraphic area is located. Its structure also includes the Equatorial Realm, Nevada province of the Western North American subrealm and the New Caledonian province of the New Zealand Caledonian subrealm. The Alpine-Melanesian-Chinese subrealm is subdivided into Alpine-Caucasian, Melanesian, and Chinese-Japanese provinces. Within the Boreal Realm established Siberian-Alaskan and West Canadian subrealms are established. Greenland biogeographical area is absolutely isolated. The Natal Realm especially belongs to the New Zealand province of the New Zealand-New Caledonian subrealm.

Key words: paleogeography, paleobiogeography, Pacifida, Arasia, Afalia, Hyperborea, Antarctica, Early Jurassic, Pliensbachian, Hettangian, brachiopods.

Представленное исследование основывается на анализе распространения раннеюрских (геттанг–плинсбах) мелководных ассоциаций брахиопод, которые трассируют береговую линию континентов, материалах

Б.А.Блюмана [1] по глубоководному бурению дна океанов и результатах работ по изучению геологического строения дна океанов, изложенных в монографиях И.А.Резанова [10], Б.И.Васильева [2–5], Б.И.Васильева

и Д.Р.Чоя [6], В.Т.Фролова и Т.И.Фроловой [11]. При составлении схемы палеобиогеографии ранней юры были использованы данные по систематике и географическому и стратиграфическому распространению брахиопод, содержащиеся в американском справочнике «Treatise of Invertebrate paleontology» [15] и работах российских и зарубежных исследователей [8, 9, 12–14, 16].

Данная статья – продолжение предыдущей работы по палеогеографии и палеобиогеографии терминального триаса [7], в которой было показано, что в конце триаса океанические бассейны отсутствовали, а континентальная кора, представляющая сушу, еще не была раздроблена на литосферные плиты. Климат на Земле был изотермический, относительно теплый. Суша представляла значительную часть Земли. Такая же палеогеографическая обстановка сохранилась и в ранней юре. На планете продолжали существовать три суперконтинента – Афаля, Пацифида и Аразия – и два континента – Гиперборея и Антарктида, разделенные мелководными шельфовыми морскими бассейнами, сообщавшимися между собой (см. рисунок). По сравнению с поздним триасом, в ранней юре площадь водной поверхности несколько увеличилась. Авторы данной публикации наблюдали первые признаки океанизации шельфовых бассейнов, что установлено по расширению пролива на юго-западе Китая и появлению раннеюрских брахиопод на территории Японии, а также подтверждено возникновением вдоль восточного побережья Африки широкого пролива на континентальной коре, в который с Тетиса до параллели о. Мадагаскар проникли представители брахиопод рода *Pseudogibbirhynchia*. В настоящее время о. Мадагаскар является фрагментом континентальной коры, входившей в состав материка Афаля. Это согласуется с данными Б.И.Васильева [5], результаты исследований которого показали, что прогибание континентальной коры и возникновение бассейнов океанического типа повсеместно начиналось от периферии материков к их центральным частям.

В ранней юре (геттанг–плинсбах), также как и в терминальном триасе [7] и в тех же границах продолжали существовать три палеозоохории наивысшего ранга: Экваториальная, Бореальная и Натальная надобласти. Экваториальная надобласть характеризуется наивысшим таксономическим разнообразием брахиопод (37 семейств и подсемейств), из них наибольшее разнообразие приходится на представителей отряда *Rhynchonellida* (21 семейство и подсемейство). На верхней границе триаса исчезают представители спириферинид надсемейства *Spondylospiroidea*. Последние представители отряда *Spiriferina* вымирают в ранней юре, из них в геттанг–плинсбахе известны только два семейства *Suessiidae* и *Pennospiriferinidae* и три подсемейства *Spiriferininae*, *Dispiriferininae* и *Sinuocostinae*, которые неизвестны в других надобластях. Общими с Натальной надобластью являются пять подсемейств: *Cirpinae*, *Praemonticlarellinae*,

Tetrarhynchiinae, *Gibbirhynchiinae* и *Lobothyridinae*, а с Бореальной надобластью – семейство *Prionorhynchiidae* и подсемейства *Peregrinelloideinae*, *Diholkorhynchiinae*, *Tetrarhynchiinae*, *Gibbirhynchiinae* и *Lobothyridinae*. В ранней юре Экваториальной надобласти, по сравнению с терминальным триасом, значительно снижается эндемизм брахиопод. Это можно объяснить нарастанием трансгрессии в геттанг–плинсбахе, на поступательной волне которой брахиоподы, проникая в шельфовые моря, образовывали бентосные ассоциации, колонизируя свободные экологические ниши. В Экваториальной надобласти выделяются Альпийско-Меланезийско-Китайская, Западно-Южно-Американская биогеографические области и Невадская биогеографическая провинция Западно-Северо-Американской области. В ее состав входит также Новокаледонская провинция, относящаяся к Новозеландско-Новокаледонской области. Альпийско-Меланезийско-Китайская область представлена следующими родами и подкладами брахиопод: *Apringia*, *Pseudogibbirhynchia*, *Jakubirhynchia*, *Septocrurella*, *Calvirhynchia*, *Rhynchonellina*, *Sulcirostra*, *Prionorhynchia*, *Lokutella*, *Cirpa*, *Calcirhynchia*, *Salgirella*, *Bodrakella*, *Homoeorhynchia*, *Planirhynchia*, *R.* (*Rhynchonelloidea*), *R.* (*Aalenirhynchia*), *Piarorhynchia*, *Cuneirhynchia*, *Sakawairhynchia*, *Furcirhynchia*, *Rimirhynchia*, *Trichorhynchia*, *Acanthothyropsis*, *Kericserella*, *Scalpellirhynchia*, *Holcorhynchia*, *Nannirhynchia*, *Squamirhynchia*, *T.* (*Tetrarhynchia*), *Grandirhynchia*, *Pontaltorhynchia*, *Gibbirhynchia*, *Amphiclinodonta*, *Spiriferinina*, *Amphiclinodonta*, *Koninckella*, *Koninckodonta*, *Suessia*, *Spiriferina*, *Calypatoria*, *Liospiriferina*, *Callospiriferina*, *Dispiriferina*, *Sinuocosta*, *Slavinithyris*, *Hesperithyris*, *Lobothyris*, *Cuersithyris*, *Exceptothyris*, *Inaequalis* и *Loboidothyris*. Наибольшее родовое таксономическое разнообразие представлено в Альпийско-Кавказской провинции, охватывающей территорию Западной Европы, Северной Африки, Крыма, Кавказа, Ирана, севера и востока Аравийского полуострова. А.Ворос [17] на основании результатов кластерного анализа распространения видовых таксонов брахиопод в плинсбахских отложениях Западной Европы и Северной Африки обосновал выделение Северо-Европейской и Средиземноморской биогеографических провинций, объясняя их обособленность наличием между ними океанической впадины. Однако авторы настоящей статьи полагают, что данные биохории следует рассматривать в ранге биогеографических районов, а их относительно слабая изоляция объясняется приуроченностью ассоциаций брахиопод к разным шельфам Тетического бассейна – Северо-Африканскому и Европейскому. Обособленно от Альпийско-Кавказской провинции расположен Мадагаскарский биогеографический район, представленный одним родом *Pseudogibbirhynchia*.

Меланезийская провинция характеризуется значительно меньшим таксономическим разнообразием

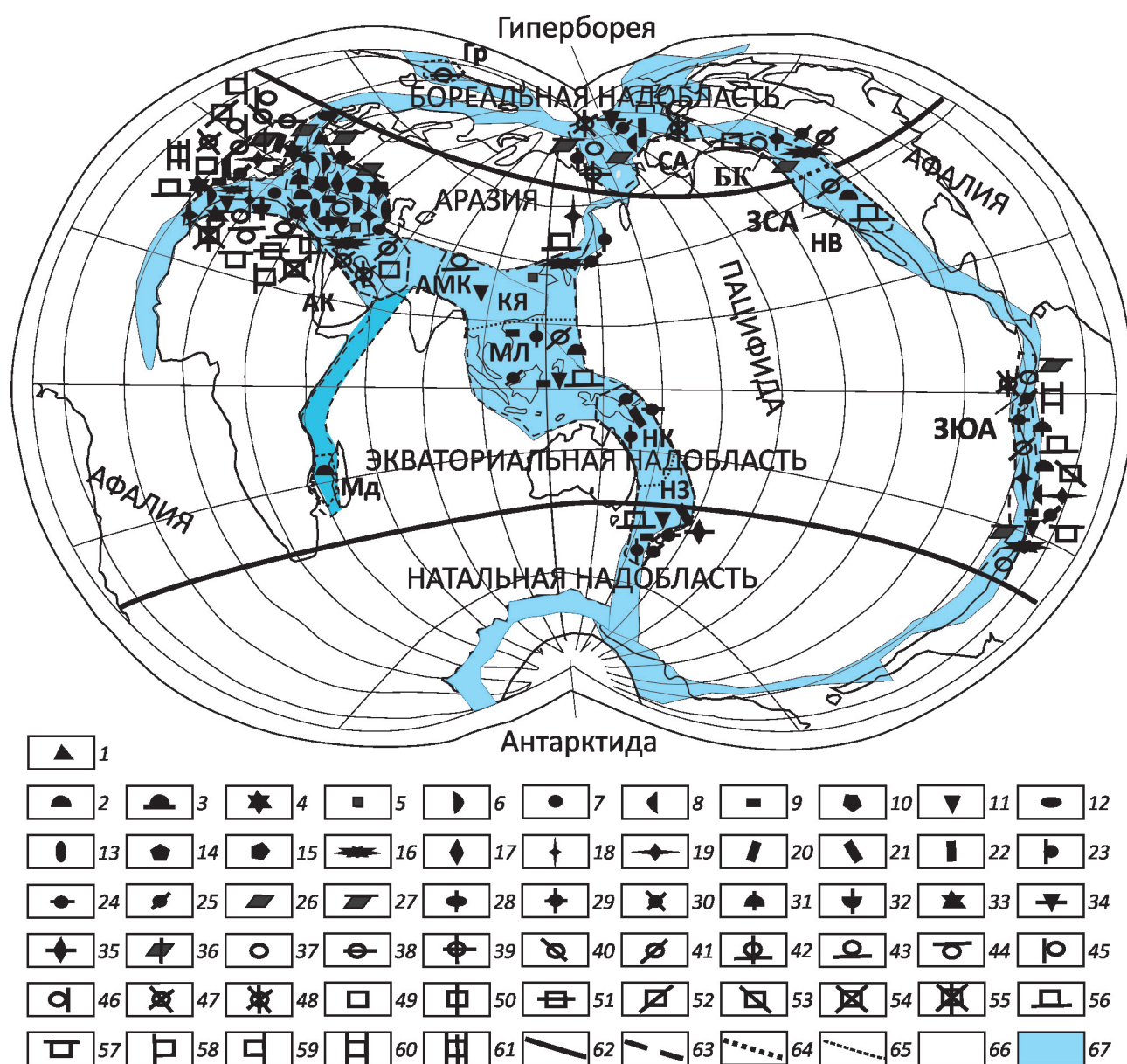


Рис. 1. Схема палеогеографии и палеобиогеографии ранней юры (геттанг–плинсах) по брахиоподам:

биогеографические области: АМК – Альпийско-Меланезийско-Китайская, ЗСА – Западно-Северо-Американская, ЗЮА – Западно-Южно-Американская, НКНЗ – Новокаледонско-Новозеландская; провинции: АК – Альпийско-Кавказская, ЗК – Западно-Канадская, КЯ – Китайско-Японская, НВ – Невадская, НЗ – Новозеландская, НК – Новокаледонская; районы: Гр – Гренландский, Мд – Мадагаскарский; 1–61 – местоположение родов брахиопод: 1 – *Apringia*, 2 – *Pseudogibbirhynchia*, 3 – *Jakubirhynchia*, 4 – *Septocrurella*, 5 – *Calvirhynchia*, 6 – *Rhynchonellina*, 7 – *Sulcirostra*, 8 – *Peregrinelloidea*, 9 – *Prionorhynchia*, 10 – *Lokutella*, 11 – *Cirpa*, 12 – *Calcirhynchia*, 13 – ?*Salgirella*, 14 – *Bodrakella*, 15 – *Herangirhynchia*, 16 – *Homoeorhynchia*, 17 – *Planirhynchia*, 18 – *R. (Rhynchonelloidea)*, 19 – *R. (Aalenirhynchia)*, 20 – *Piarorhynchia*, 21 – *Caledorhynchia*, 22 – *Cuneirhynchia*, 23 – *Sakawairhynchia*, 24 – *Murikhurhynchia*, 25 – *Furcirhynchia*, 26 – *Rudirhynchia*, 27 – *Rimirhynchia*, 28 – *Trichorhynchia*, 29 – *Acanthothyropsis*, 30 – ?*Kericserella*, 31 – *Scalpellirhynchia*, 32 – *Holcorhynchia*, 33 – *Nannirhynchia*, 34 – *Ochotorhynchia*, 35 – *Aucklandirhynchia*, 36 – *Squamirhynchia*, 37 – *T. (Tetrarhynchia)*, 38 – *Grandirhynchia*, 39 – *Orlovirhynchia*, 40 – *Pontaltorhynchia*, 41 – *Quadratirhynchia*, 42 – *Gibbirhynchia*, 43 – *Amphiclinodonta*, 44 – *Koninckella*, 45 – *Koninckodonta*, 46 – *Suessia*, 47 – *Spiriferina*, 48 – *Calyptoria*, 49 – *Liospiriferina*, 50 – *Callospiriferina*, 51 – *Dispiriferina*, 52 – *Sinucostra*, 53 – *Ancorellina*, 54 – *Slavinithyris*, 55 – *Hesperithyris*, 56 – *Lobothyris*, 57 – *Cuersithyris*, 58 – *Exceptothyris*, 59 – *Inaequalis*, 60 – *Notosia*, 61 – *Loboidothyris*; 62–65 – границы: 62 – надобластей, 63 – областей, 64 – провинций, 65 – районов; 66 – суша, 67 – вода

относительно Альпийско-Кавказской. Здесь присутствуют представители только семи родов: *Pseudogibbirhynchia*, *Prionorhynchia*, *Cirpa*, *Sakawairhynchia*, *Furcirhynchia*, *Gibbirhynchia* и *Lobothyris*. Китайско-Японская провинция характеризуется также низким таксономическим разнообразием. Она представлена родами *Calvirhynchia*, *Cirpa*, *Homoeorhynchia*, *Sakawairhynchia*, *Furcirhynchia*, *R. (Rhynchonelloidea)*, *Planirhynchia* и *Lobothyris*. Западно-Южно-Американская область по таксономическому разнообразию уступает только Альпийско-Китайской области. Она представлена 17 родами и под родами: *Pseudogibbirhynchia*, *Peregrinelloidea*, *Prionorhynchia*, *Cirpa*, *Homoeorhynchia*, *R. (Rhynchonelloidea)*, *R. (Aalenirhynchia)*, *Furcirhynchia*, *Rudirhynchia*, *Acanthothyropsis*, *Scalpellirhynchia*, *T. (Tetrahynchia)*, *Quadratirhynchia*, *Gibbirhynchia*, *Ancorellina*, *Lobothyris*, *Cuersithyris* и *Notosia*.

На юго-западном обрамлении материка Пацифиды расположена Новокаледонско-Новозеландская биогеографическая область с двумя провинциями Новокаледонской и Новозеландской. Первая из них входит в состав Экваториальной надобласти, а вторая принадлежит Натальной. Новокаледонская провинция представлена родами *Caledorhynchia*, *Sakawairhynchia*, *Murikurhynchia* и *Furcirhynchia*. В составе Новозеландской провинции, кроме вышеперечисленных родов, присутствуют представители родов *Prionorhynchia*, *Cirpa*, *Aucklandirhynchia* и *Lobothyris*.

Бореальная надобласть характеризуется 12 семействами и подсемействами: *Piarorhynchiinae*, *Peregrinelloideinae*, *Prionorhynchiidae*, *Nucleosorhynchiinae*, *Davanirhynchiinae*, *Diholkorhynchiinae*, *Ochotorhynchiidae*, *Tetrahynchiinae*, *Gibbirhynchiinae*, *Spiriferinae*, *Lobothyridinae*, *Loboidothyrididae*. От Экваториальной надобласти она отличается присутствием представителей трех семейств *Prionorhynchiidae*, *Ochotorhynchiidae*, *Loboidothyrididae* и подсемейства *Peregrinelloideinae*. Биогеографические связи с Натальной надобластью осуществлялись вдоль шельфа западного обрамления материка Пацифиды. Это подтверждается присутствием представителей общего семейства *Prionorhynchiidae* и четырех подсемейств *Peregrinelloideinae* (*Peregrinelloidea*), *Tetrahynchiinae* (*T. Tetrahynchia*), *Gibbirhynchiinae* (*Gibbirhynchia*) и *Lobothyridinae* (*Lobothyris*). В Бореальной надобласти выделяются Сибирско-Аляскинская провинция, а также Западно-Канадская провинция Западно-Северо-Американской надобласти. Обособленно расположен Гренландский биогеографический район, характеризующийся единственным родом *Grandirhynchia*, известным также на территории Англии и Шотландии. Сибирско-Аляскинская область представлена десятью родами и под родами: *Peregrinelloidea*, *Cuneirhynchia*, *Sakawairhynchia*, *Furcirhynchia*, *Rudirhynchia*, *Rimirhynchia*, *Ochotorhynchia*, *T. (Tetrahynchia)*,

Orlovirhynchia и *Spiriferina*. Западно-Северо-Американская область находилась в зоне экотона Экваториальной и Бореальной надобластей. Она представлена следующими родами и под родами брахиопод: *Pseudogibbirhynchia*, *Homoeorhynchia*, *Sakawairhynchia*, *Furcirhynchia*, *Rimirhynchia*, *T. (Tetrahynchia)*, *Quadratirhynchia*, *Gibbirhynchia* и *Lobothyris* и разделяется на две провинции – Невадскую и Западно-Канадскую. Невадская провинция характеризуется всего четырьмя родами *Quadratirhynchia*, *Pseudogibbirhynchia*, *Gibbirhynchia* и *Lobothyris*. В Западно-Канадской провинции найдены представители родов *Homoeorhynchia*, *Sakawairhynchia*, *Furcirhynchia*, *Rimirhynchia*, *Gibbirhynchia* и подрода *T. (Tetrahynchia)*.

Нарастающая в начале ранней юры трансгрессия несколько нивелировала физические преграды между морскими бассейнами, расположенными на территории Западной Европы, Северной Африки, Кавказа и Аравийского полуострова, где находился центр возникновения многих таксонов от отрядного до видового уровней. Значительно расширились связи между биогеографическими областями. Тетический бассейн, расположенный вдоль западного и южного обрамления материка Аразия, сообщался с Бореальной областью через два пролива – западный, через Гренландию и восточный – через восток Китая, Японию и Приморье. В южном направлении обмен фауной брахиопод Тетического бассейна с морским бассейном, расположенным на западе Южной Америки, происходил через Меланезию, Новую Каледонию и Новую Зеландию. Об этом свидетельствует наличие таких общих родов и под родов между Альпийско-Меланезийско-Китайской и Западно-Южно-Американской областями, как *Pseudogibbirhynchia*, *Cirpa*, *R. (Rhynchonelloidea)*, *R. (Aalenirhynchia)*, *Furcirhynchia*, *Acanthothyropsis*, *Scalpellirhynchia*, *T. (Tetrahynchia)*, *Gibbirhynchia*, *Cuersithyris*. На свободный обмен брахиоподами между Западно-Северо-Американской и Западно-Южно-Американской областями указывает наличие представителей шести общих родов *Pseudogibbirhynchia*, *Homoeorhynchia*, *Furcirhynchia*, *Quadratirhynchia*, *Gibbirhynchia*, *Lobothyris* и подрода *Tetrahynchia* (*Tetrahynchia*).

Установлено, что среди брахиопод триасово-юрскую границу всех областей не пересекают представители отряда *Retziidina*; надсемейств *Spondylospiroidea* и *Cryptonelloidea*; семейств *Spiriferellinidae*, *Balatonspiridae*, *Bittnerulidae*, *Rastelligeridae*, подсемейств *Pseudocyrtinae*, *Mentzeliinae*, *Misoliinae*, *Neoretziinae*, *Spinolepismatininae*, *Rastelligerinae*, *Pseudocyrtinae* и *Mentzeliinae*; родов *Euxinella*, *Robinsonella*, *Triadispira*, *Viligella*, *Paralaballa*, *Clavigera*, *Majkopella*, *Oxycolpella*, *Misolia*, *Laballa*, *Rastelligera*, *Boreiospira*, *Psidioidella*, *Pennospiriferina*, *Paralaballa* и *Triadithyris*. К этому следует добавить, что геттанг-плинсбахское биотическое событие прослеживается во всех морских бассейнах планеты.

В ранней юре происходит грандиозная диверсификация брахиопод. Появляются представители шести семейств Acanthothirididae, Norellidae, Ochotorhynchiidae, Suessiidae, Thecideidae, Hesperithyrididae; шести подсемейств Peregrinelloideinae, Striirhynchiinae, Acanthorhynchiinae, Gibbirhynchiinae, Thecideinae, Lobothyrinidae; шестидесяти родов и подродов: *Apringia*, *Pseudogibbirhynchia*, *Jakubirhynchia*, *Septocurella*, *Calvirhynchia*, *Rhynchonellina*, *Sulcistrostra*, *Peregrinelloidea*, *Prionorhynchia*, *Lokutella*, *Cirpa*, *Calcirhynchia*, *?Salgirella*, *Bodrakella*, *Herangirhynchia*, *Homoeorhynchia*, *Planirhynchia*, *R. (Rhynchonelloidea)*, *R. (Aalenirhynchia)*, *Piarorhynchia*, *Caledorhynchia*, *Cuneirhynchia*, *Sakawairhynchia*, *Murihikurhynchia*, *Furcirhynchia*, *Rimirhynchia*, *?Trichorhynchia*, *?Acanthothyropsis*, *Kericserella*, *Scalpellirhynchia*, *Holcorhynchia*, *Nannirhynchia*, *Ochotorhynchia*, *Aucklandirhynchia*, *?Squamirhynchia*, *T. (Tetrarhynchia)*, *Grandirhynchia*, *Orlovirhynchia*, *Pontaltorhynchia*, *Quadratrirhynchia*, *Gibbirhynchia*, *Amphiclinodonta*, *Koninckella*, *Koninckodonta*, *Suessia*, *Spiriferina*, *Calyptoria*, *Liospiriferina*, *Callospiriferina*, *Dispiriferina*, *Sinuocosta*, *Ancorellina*, *Slavinithyris*, *Hesperithyris*, *Lobothyris*, *Cuersithyris*, *Exceptothyris*, *Inaequalis*, *Notosia*, *Loboidothyris*.

Также в ранней юре вымирают последние представители отряда Spiriferinida; подотрядов Koninckinidina, Spiriferinidina и Cyrtinidina; надсемейств Pennospiriferinoidea, Suessioidea, Spiriferinoidea и Cryptonelloidea; семейств Laballidae, Pennospiriferinidae, Lepismatinidae, Gilledidae, Juvavellidae, Plectoconchidae; подсемейств Clavigerinae, Laballinae, Dispiriferininae, Spiriferininae, Paralaballinae и Hemitychininae; родов *Amphiclinodonta*, *Koninckodonta*, *Koninckella*, *Lamellokoninckina*, *Septamphiclina*, *Spiriferina*, *Mentzelioides*, *Triadispira*, *Viligella*, *Rhaetina*, *Adygelloides* и *Wittenburgella*.

Таким образом, в ходе комплексных исследований установлено, что в ранней юре продолжали существовать три суперконтинента – Афаля, Пацифида, Аразия – и два континента – Гиперборея и Антарктида, разделенные мелководными шельфовыми морскими бассейнами. В связи с нарастающей геттанг-плинсбахской трансгрессией, которая началась в терминальном триасе в акватории шельфовых бассейнов, происходит нивелировка брахиоподовой фауны. Существовавшие в терминальном триасе Альпийско-Китайская и Меланезийская области в геттанге–плинсбахе объединяются в одну – Альпийско-Меланезийско-Китайскую, а устранение физических барьеров способствует широкому обмену брахиоподовой фауны между морскими бассейнами, окружающими материки, и возрастанию ее таксономического разнообразия. Эти установленные факты подтверждают широкую стационарность принципиальной модели континентов и проведенных реконструкций изученного интервала.

Исследования проведены в соответствии с планом НИР ИГАБМ СО РАН (проекты IX.124.1.6 и 0381-2014-0003) и при частичном финансировании второй Якутской комплексной тематической экспедиции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Блюман Б.А. Земная кора океанов // По материалам международных программ глубоководного бурения в Мировом океане. – СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2011.
2. Васильев Б.И. Основные черты геологического строения северо-западной части Тихого океана. – Владивосток: ДВО АН СССР, 1988.
3. Васильев Б.И. Основы региональной геологии Тихого океана. Части 1 и 2. – Владивосток: Дальнаука, 1992. С. 242.
4. Васильев Б.И. Меланезийский тип Тихоокеанской зоны перехода // Тихоокеанская геология. 1993. № 5. С. 3–12.
5. Васильев Б.И. Геологическое строение и происхождение Тихого океана. – Владивосток: Дальнаука, 2009.
6. Васильев Б.И., Чой Д.Р. Геология глубоководных желобов и островных дуг Тихого океана. – Владивосток: Дальнаука, 2001.
7. Гриненко В.С., Баранов В.В. Проблемы палеогеографии, палеобиогеографии и стратиграфии терминального триаса Бореальной надобласти: бырандзянский ярус // Матлы VII Всерос. научн.-практ. конф., 5–7 апреля 2017 г. – Якутск, 2017. Т. II. С. 311–314.
8. Дагис А.С. Юрские и раннемеловые брахиоподы севера Сибири // Труды ИГиГ. Т. 41. 1968. С. 167.
9. Макридин В.П. Брахиоподы юрских отложений Русской платформы и некоторых прилегающих областей. – М.: Недра, 1964.
10. Резанов И.А. Эволюция земной коры. – М.: Наука, 1985.
11. Фролов В.Т., Фролова Т.И. Происхождение Тихого океана. – М: МАКСпресс, 2011.
12. Aberhan, M. Palaeoecologie und Zeitliche Verbreitung Benthischer Faunengemeinschaften im Unterjura von Chile // Beringeria. 1992. Vol. 5. P. 3–174.
13. Aberhan M. Faunal replacement in the Early Jurassic of northern Chile: Implications for the evolution in Mesozoic benthic shelf ecosystems // Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. 1993. Vol. 103(3–4). P. 155–177.
14. Ager D.V. Mesozoic and Cenozoic Rhynchonellacea // In R.C.Moore, ed., Treatise on Invertebrate Paleontology. Part H, Brachiopoda. The Geological Society of America & The University of Kansas Press. – New York & Lawrence, 1965. P. 597–625.
15. Treatise of Invertebrate paleontology. Pt. H. Brachiopoda. Revised. Vol. 4. Rhynchonelloformea (part). Geol. Soc. Amer., Inc. and the Univ. Kansas Boulder, Colorado, and Lawrence, Kansas. 2002.
16. Tomašových A. A new Early Jurassic rhynchonellid brachiopod from the Western Tethys and implication for systematic of rhynchonellids from the Triassic–Jurassic boundary // J. Paleontol. 2006. Vol. 80. № 2. P. 212–228.
17. Vörös A. Early Jurassic (Pliensbachian) brachiopod biogeography in the western Tethys: The Euro-Boreal and Mediterranean faunal provinces revised // Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. 2016. Vol. 457. P. 170–185.

Инженерно-геологические изыскания: «метод контрольной скважины»

Т.Г.РЯЩЕНКО, В.В.АКУЛОВА (Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт земной коры Сибирского отделения Российской академии наук (ИЗК СО РАН); 664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 128)

Рассмотрены результаты «метода контрольной скважины» на примере площадки инженерно-геологических изысканий в г. Шелехов, где проводилось «доизучение» грунтов современного аллювиального комплекса на основе специальных лабораторных исследований их микроструктуры, состава, физико-химических, тиксотропных и реологических свойств (глубина контрольной скважины 12 м). Установлены признаки, понижающие устойчивость грунтового основания площадки. Сделаны выводы о необходимости своевременной интеграции производственных и научных материалов в процессе изысканий.

Ключевые слова: инженерно-геологические изыскания, контрольная скважина, грунт, микроструктура, состав, свойства.

Рященко Тамара Гурьевна
Акулова Варвара Викторовна



ryashenk@crust.irk.ru
akulova@ctust.irk.ru

Engineering-geological investigations: «method of monitoring well»

T.G.RYASHCHENKO, V.V.AKULOVA (Institute of the Earth's Crust SB RAS)

The article is devoted to the results of «method of monitoring well» on the case site for engineering and geological investigations in the town of Shelekhov, where additional investigations of modern alluvial complex were conducted through special laboratory tests of their microstructure, composition, physic-chemic, thixotropic and rheological properties (depth of monitoring well is 12 m). The features that reduce the soil base of the ground area have been distinguished. Conclusions of the necessary for timely integration of industrial and scientific materials in the research process have been done.

Key words: geological-engineering investigations, monitoring well, soil, microstructure, composition, properties.

В г. Екатеринбург 6–7 марта 2015 г. состоялась VII Международная научно-практическая конференция, организованная Национальной ассоциацией ученых (НАУ). Тема конференции была сформулирована следующим образом: «Отечественная наука в эпоху изменений: постулаты прошлого и теории нового времени». Науками о Земле занималась секция 24, в составе которой рассматривались проблемы, связанные с геологическими исследованиями. Авторам данной статьи неизвестно, разбирались ли на этой конференции постулаты прошлого и теории нового времени в области инженерной геологии, но специалисты осознают, что при изучении вопросов, связанных с инженерно-геологическими изысканиями, происходит своеобразное столкновение «старых» норм и правил с новыми научными разработками и возможностью их практического внедрения.

Обзор публикаций в трудах научной конференции «Сергеевские чтения» [11, 12] показал, что современное состояние инженерно-геологических изысканий в России характеризуется в большей степени недостатками,

чем достижениями. Кроме того, академиком В.И.Осиповым было отмечено, что «в стране произошло реформирование порядка лицензирования и регламентирования инженерных изысканий, но в научной среде вызывает тревогу наблюдаемый в настоящий момент процесс «либерализации» изысканий, их приведения к западным геотехническим стандартам без учета экономических, природных и климатических особенностей России, без учета сложившихся традиций, накопленного опыта и практики» [6, с. 5].

Известна цепочка: инженерно-геологические изыскания – проектирование фундамента и функциональной части сооружения – строительство объекта – эксплуатация. В последнее время участились примеры формально выполненных изысканий за счет их удешевления. В результате понизилось качество, что увеличило вероятность возникновения аварийных ситуаций.

На примере данных инженерно-геологической статистики на территории г. Ханты-Мансийск (1960–2002 гг.) приведены факты недобросовестных исследований [7].

Главные из них – некаленифицированное описание разрезов скважин, неправильный генезис грунтов, неполный объем лабораторных исследований, когда вместо реальных данных по свойствам грунтов приводятся табличные значения из справочников, СНиПов и ведомственных норм.

Подобные «недостатки» встречаются в технических инженерно-геологических отчетах на каждом шагу, в том числе и в нашем Восточно-Сибирском регионе, что, естественно, вызывает необходимость так называемого «доизучения» грунтовых толщ площадки. Так появился метод «контрольной скважины», когда для решения спорных вопросов и интеграции производственных и научных материалов дополнительно при участии сотрудников Института земной коры СО РАН (ИЗК СО РАН) производится бурение новых скважин с отбором проб грунта и последующими комплексными (с выходом за рамки стандартов) лабораторными исследованиями грунтовой толщи. Подобное «доизучение» выполнялось на объекте «Маршал» в г. Иркутск [3, 9, 10] и площадке в городе-спутнике Иркутска – Шелехов. Поскольку в первом случае материалы опубликованы, то в данной статье рассматриваются результаты контрольной скважины по второму объекту. Следует заметить, что «контрольную скважину» следовало бы заменить опорной, которая должна была существовать в процессе изысканий, а не появляться в процессе дополнительного исследования территории.

Площадка «Шелехов». Котлован для строительства 5-этажного дома в районе г. Шелехов группа специалистов посетила 19 февраля 2014 г. Глубина котлована около 2,5 м, в днище были забиты 12-метровые сваи; предполагалась их засыпка песчано-гравийно-галечной смесью, затем – создание из этой же смеси «подушки» мощностью до 1 м, в пределах которой предполагалось сооружение ленточного фундамента (рис. 1).

Выполнено опробование и детальное описание образцов грунта, вскрытого в стенках котлована. Верхняя часть разреза (до 3 м) характеризуется разнородным литологическим составом: отмечаются фациальные замещения по простиранию от связных песков до нормальных сыпучих песчаных разновидностей, залегающих в виде небольших линз. Принадлежность отложений к аллювиальному комплексу подтверждают такие признаки, как горизонтальная слоистость, ожелезнение по поверхности горизонтальных отделностей, присутствие многочисленных включений темноцветных минералов и чешуек слюды, окатанность песчаных кварцевых зерен разной крупности; кроме того, фациальная пестрота толщи также является характерной особенностью пойменного аллювия.

24 февраля 2014 г. в котловане была пробурена контрольная инженерно-геологическая скважина ШС глубиной 12 м. На забое вскрыты водонасыщенные галечники с пылевато-глинистым заполнителем, а на глубине 1,9–2,0 м – грунтовые воды (верховодка?) и

связанная с ними плывунная зона – водонасыщенные пески. Отобраны монолиты и образцы нарушенной структуры (это были дубликаты монолитов) для лабораторий ООО «Иркутскстройизыскания», где предполагалось провести комплекс стандартных определений физико-механических свойств грунтов, и ИЗК СО РАН, где были выполнены комплексные исследования, выходящие за рамки стандартов.

Разрез контрольной скважины (ШС) представлен одним геолого-генетическим комплексом (aQ_4), который содержит шесть литологических разновидностей: песок связный (ps^*), суглинок светло-коричневый с гнездами песка (gln), песок (ps), суглинок гумусированный (gln^*), песок с единичным гравием (ps^{**}), галечник с песчаным заполнителем (cr). Наибольшую мощность (6,5 м) имеет темно-серый, почти черный гумусированный суглинок старичной фации, склонный к тиксотропному разупрочнению (рис. 2).

Природная влажность грунтов контрольной скважины, которая определялась по пробам в бюксах, составляет 16,3–23,2%, консистенция преимущественно твердая, в двух случаях тугопластичная (на глубине 6,3 и 8,0 м в гумусированном суглинке); влажность водонасыщенных песков 26,8%, заполнителя в галечниках 36,0%.

Методы комплексных лабораторных исследований грунтов. В грунтоведческой группе лаборатории инженерной геологии и геоэкологии ИЗК СО РАН по образцам нарушенной структуры, отобраным в бортах котлована и контрольной скважине, определялись: гранулометрический состав пипеточным методом (применялись три способа подготовки – агрегатный, полудисперсный-стандартный, дисперсный) с расчетами различных микроструктурных параметров по методу «Микроструктура» [3, 9], емкость катионного обмена [5], содержание гумуса, набухание, усадка, пластичность и время размокания [4]. Выполнялся химический анализ водной, солянокислой и щелочной вытяжек [2]; состав глинистых минералов определялся в ИЗК СО РАН главным специалистом Т.С.Филевой методом рентгеноструктурного анализа (РСА).

Для монолитов проводились экспериментальные исследования тиксотропно-реологических свойств. Тиксотропное разупрочнение грунтов определялась на виброплощадке 435–А с частотой колебаний 50 Гц и амплитудой 0,85 мм (время вибрации 30 сек.). В качестве показателя прочности выбрано сопротивление сдвигу – τ , МПа, которое определялось до (τ_1) и после вибрационных воздействий (τ_2) в условиях быстрого сдвига без вертикальной нагрузки и при давлении 0,05 МПа. Рассчитывался коэффициент тиксотропного разупрочнения ($K_p = \tau_2/\tau_1$). Снижение прочности имеет место при $K_p < 1$; в ряде случаев происходит явление отрицательной дилатансии – уплотнение грунта и увеличение прочности ($K_p > 1$).

Реологические свойства глинистых грунтов исследовались на сдвиговом приборе ВСВ–25 с



Рис. 1. Общий вид котлована и его стенок, из которых были отобраны образцы верхней зоны разреза аллювиального комплекса

автоматической приставкой при постоянной скорости сдвига $1,5 \cdot 10^{-5}$ см/с и равномерном (автоматическом) повышении напряжения. Сдвиговые испытания проводились при отсутствии вертикальной нагрузки и при давлении 0,05 МПа. Возникновение ситуации, когда после достижения максимальной величины напряжения сдвига отмечается его снижение, позволяет говорить о релаксации напряжений в грунте и склонности его к ползучести.

Результаты и их обсуждение. Лабораторные исследования проводились для связных песков (ps^* – образ-

цы из бортов котлована и верхней зоны контрольной скважины), суглинков светло-коричневых (gln) и суглинков гумусированных (gln*). Для указанных литологических разновидностей в качестве примера (данные для пяти образцов) представлены показатели микроструктуры, состава и некоторых свойств (табл. 1).

Микроструктура. Проведенные расчеты содержания микроструктурных параметров показали, что по количеству агрегатов (18,6–30,8%) все разновидности грунтов имеют смешанную (агрегированно-скелетную или скелетно-агрегированную) микроструктуру,



поэтому их реальная глинистость составляет 11,4–35,6%, при этом преобладают частицы $< 0,001$ мм, которые почти все находятся в агрегатах (коэффициент их свободы 0–2%). Наличие агрегатов в связных песках (это промежуточная разновидность между нормальными песками и супесями), определяет их особые свойства – пластичность и физико-химическую активность (см. табл. 1).

Как правильно назвать выделенные литологические разновидности грунтов с учетом их микроструктурных особенностей? Рекомендуется определять название по данным стандартной гранулометрии (М9), далее необходима информация о типе микроструктуры, реальной глинистости (общее содержание фракции $< 0,002$ мм в виде первичных частиц и в составе агрегатов – М8) и пластичности. Например, образец ШС–1,0 м – песок связный (М9=1,4%), микроструктура агрегированно-скелетная (А=21,7%), реальная глинистость (М8) составляет 17,5%, пластичность 3%; образец ШС–5,0 м – супесь (М9=8,3%), микроструктура скелетно-агрегированная (А=32,7%), реальная глинистость составляет 32,5%, пластичность 6%. Таким образом, в связном песке агрегированность способствует пластичности за счет резерва глинистой фракции в агрегатах; в гумусированной супеши, наоборот, происходит снижение пластичности по причине повышенного содержания агрегатов (реальная глинистость соответствует глине, число пластичности–супеши).

Результаты химического анализа водной, солянокислой и щелочной вытяжки грунтов. Водорастворимые соли составляют 0,12–0,33%, тип засоления карбонатно-сульфатный, в низах разреза – карбонатно-хлоридный, реакция среды кислая и нейтральная (рН=6,6–7,2). Слабое засоление характерно для современных аллювиальных отложений.

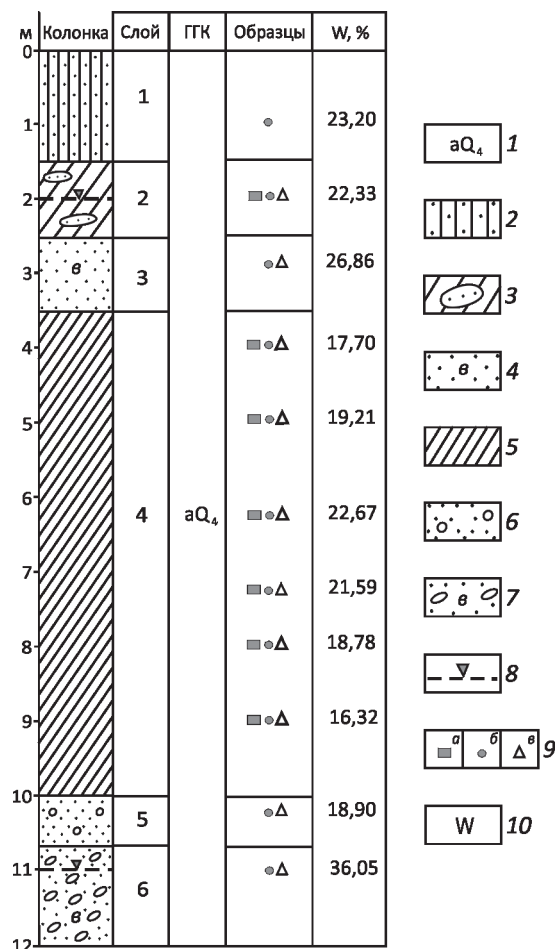


Рис. 2. Разрез (геолого-литологическая колонка) контрольной скважины ШС (строительная площадка, г. Шелехов):

геолого-генетические комплексы (ГГК): 1 – современный аллювиальный; литологические разновидности грунтов: 2 – связный песок, светло-коричневый, слабо ожеженный, 3 – суглинок с гнездами песка, светло-коричневый, карбонатный, 4 – песок разноразмерный, водонасыщенный (пловун), 5 – суглинок темно-серый и черный, гумусированный, карбонатный, с недоразвитыми макропорами и макропорами-кавернами, с тонкими прослойками песка, 6 – песок разноразмерный, серый, с единичными включениями гравия, 7 – галечник с песчаным заполнителем, водонасыщенный; 8 – уровень залегания подземных вод; 9 – виды проб: а – монолит, б – проба нарушенной структуры, в – проба в бьюке для определения природной влажности; 10 – величина природной влажности (в %), определена по пробе в бьюке

Общее содержание карбонатов высокое (13,2–25,0 %), преобладают CaCO_3 и FeCO_3 . Обогащение карбонатами связных песков, как и других литологических разновидностей аллювиальной толщи, вскрытой на площадке «Шелехов», является их особым признаком и определяется постдиагенетическими процессами.

1. Показатели микроструктуры, состава и некоторых свойств грунтов контрольной скважины (ШС) площадки «Шелехов»

Н, м	ЛР	А	М8	М9	S _{вр}	S _{кр}	Al ₂ O ₃ *	C _{орг}	I _p	ЕКО
1,0	ps*	21,7	15,0	1,0	0,21	10,4	0,85	0,96	3,9	17,8
2,0	gln	21,4	17,5	1,4	0,12	24,0	2,07	0,90	4,6	26,2
5,0	gln*	32,5	32,7	8,3	0,23	14,7	2,13	2,44	6,0	36,7
7,3	gln*	29,9	35,6	12,1	0,31	24,8	4,51	1,36	6,0	28,3
9,0	gln*	30,8	23,4	8,9	0,13	13,2	2,04	0,80	7,3	57,6

Примечание. Н – глубина образца; ЛР – литологические разновидности; А – общее количество агрегатов; М8 – реальная глинистость (общее содержание фракции <0,002 мм в свободном состоянии и в агрегатах); М9 – содержание фракции <0,002 мм по данным стандартного гранулометрического анализа; S_{вр}, S_{кр}, C_{орг}, Al₂O₃ * – содержание водорастворимых солей, карбонатов, гумуса, подвижных форм алюминия; I_p – число пластичности (в %); ЕКО – ёмкость катионного обмена грунта, мг-экв на 100 г вещества.

По данным щелочной вытяжки в аллювиальных отложениях (за исключением связанных песков) установлено повышенное содержание (2,04–5,39%) подвижных форм оксида алюминия (Al₂O₃*), которые исполняют роль компонентов, формирующих структурные связи в грунтах.

Содержание гумуса. Этот показатель оказался четким критерием: как и предполагалось, его содержание увеличилось в отложениях старичной фации (1,36–2,44%) по сравнению со связными песками и светло-коричневыми суглинками (0,84–1,00%).

Глинистые минералы. По данным рентгеноструктурного анализа (РСА), тонкоглинистая фракция (<0,001 мм) отложений старичной фации аллювия является полиминеральной (сметит, гидрослюда, хлорит, каолинит, смешанослойные минералы типа гидрослюда–

сметит, хлорит–сметит), поэтому не может существенно влиять на их свойства. Аналогичная ситуация отмечается в связных песках.

Физико-химические свойства. Ёмкость катионного обмена изменяется от 5,2 до 57,6 мг-экв. Зависимости ее величины от содержания гумуса не наблюдается (см. табл. 1). Возможно, высокие значения связаны с увеличением содержания сметита в некоторых образцах. По-видимому, определенное значение имеет агрегированность (активные в физико-химическом отношении тонкоглинистые фракции заключены в агрегаты и поэтому пассивны). Набухание (ϵ_{sw}) и усадка (V_y) определялись на пастах с влажностью 18,4–20,4 % и плотностью 2,20–2,40 г/см³ для образцов гумусированных суглинков и связного песка. Набухание практически отсутствует (0,2–1,9%), но усадка зафиксирована

2. Результаты экспериментальных исследований тиксотропных свойств гумусированных суглинков скважины (ШС)

Н, м	$\frac{\rho, \text{ г/см}^3}{\rho_d, \text{ г/см}^3}$	I _L	W, %	Сдвигающее усилие (τ), МПа				Коэффициент тиксотропного разупрочнения (K _p =τ ₂ /τ ₁)	
				до вибрации (τ ₁)		после вибрации (τ ₂)			
				(1)**	(2)**	(1)	(2)	(1)	(2)
2,0	$\frac{1,95}{1,59}$	−0,02	22,41	0,045	0,075	0,040	0,085	0,89	1,13
4,0	$\frac{2,00}{1,70}$	−0,18	17,40	0,060	0,095	0,055	0,110	0,92	1,16
5,0	$\frac{2,12}{1,78}$	−0,28	19,0	0,080	0,105	0,095	0,130	1,19	1,24
6,3	$\frac{2,06}{1,67}$	0,41	22,3	0,045	0,065	0,030	0,060	0,67	0,92
7,3	$\frac{2,10}{1,72}$	−0,03	21,8	0,075	0,105	0,085	0,135	1,13	1,29
8,0	$\frac{2,02}{1,69}$	0,44	19,6	0,050	0,080	0,045	0,105	0,90	1,31

Примечание. Н – глубина образца; ρ , ρ_d ; W – природная плотность, плотность скелета, природная влажность грунта; I_L – показатель текучести (консистенции); (1)**; (2)** – сдвигающие усилия грунтов определялись при условии (1) – без вертикальной нагрузки и давления (2) – 0,05 МПа; коэффициенты тиксотропного разупрочнения рассчитаны также для двух вариантов (1, 2).

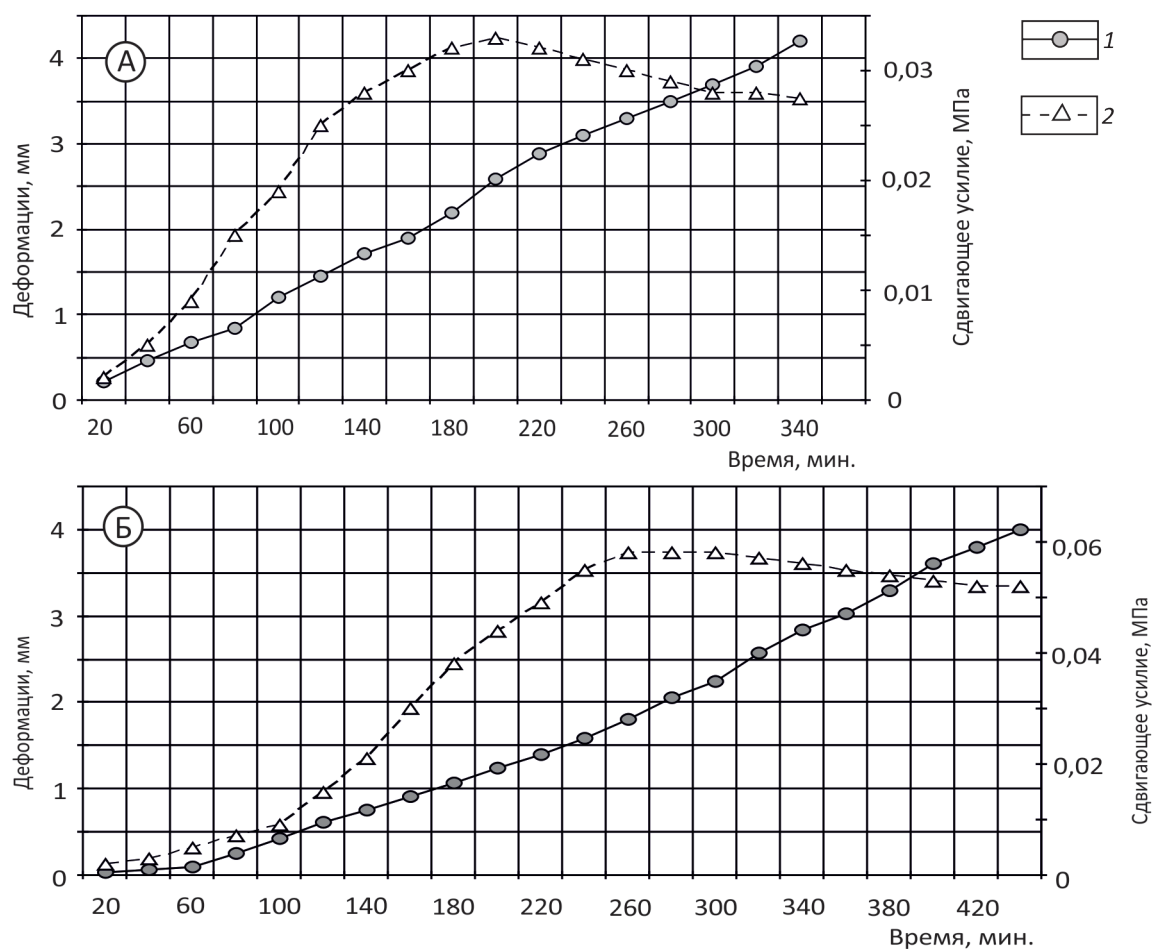


Рис. 3. Результаты исследования реологических свойств глинистых грунтов (обр. ШС-6,3) без вертикальной нагрузки (А) и при давлении 0,05 МПа (Б):

1 – деформация, мм; 2 – сдвигающее усилие, МПа

(11,4–20,6%). Таким образом, в очередной раз не установлена взаимосвязь между этими свойствами [1, 9].

Пределы и число пластичности определены для десяти образцов; все они, за исключением одного, оказались супесями ($I_p=3,0-6,9$). При пересчете числа пластичности по трем прогнозным формулам [8] совпадение экспериментальных и расчетных значений составило 70%. Следовательно, заниженная пластичность грунтов, которые при визуальном просмотре названы суглинками, определена их агрегированностью; в то же время наличие агрегатов в связных песках с заключенными в них тонкоглинистыми частицами сделало их «аномально пластичными».

Размокание. Время размокания, которое отражает прочность (водостойкость) структурных связей, определялось на воздушно-сухих образцах ненарушенной структуры. Получены следующие результаты: связные пески размокают мгновенно (3–55 секунд), суглинки

старичной фации – в пределах 3–6 минут. Влияют, по всей вероятности, содержание агрегатов и величина реальной глинистости – во втором случае этих компонентов значительно больше.

Экспериментальные исследования тиксотропно-реологических свойств. Снижение прочности грунтов старичной фации аллювия при вибрационных испытаниях установлено для четырех образцов (из шести) твердой и тугопластичной консистенции при условии быстрого сдвига без вертикальной нагрузки (табл. 2). При участии вертикальной нагрузки 0,05 МПа только один образец тугопластичной консистенции проявил тиксотропное разупрочнение, что, возможно, связано с повышенной природной плотностью ($>2,00 \text{ г/см}^3$) и агрегированностью.

Результаты эксперимента (исследовались два образца) по изучению реологических свойств представлены на графиках зависимости деформации и сдвигающего

усилия от времени деформирования грунта. В первом случае (обр. ШС–4,0 м) наличие ползучести, выражающейся в снижении максимального напряжения сдвига, отмечено только при условии отсутствия вертикальной нагрузки. Во втором случае (обр. ШС–6,3 м) уменьшение максимального напряжения сдвига наблюдается при различных условиях опыта – без вертикальной нагрузки и при давлении 0,05 МПа (рис. 3, А, Б).

Из материалов статьи можно сделать следующие выводы:

1. Обследование котлована и бурение контрольной скважины показали, что в пределах площадки залегают грунты современного аллювиального комплекса, в составе которого выделены шесть литологических разновидностей, в том числе связные пески и темно-серые суглинки (по визуальному определению) с особыми признаками.

2. Плывинные пески в верхней части разреза, относительно мощная толща темно-серых суглинков старичной фации, склонных к тиксотропному разупрочнению и ползучести, и водонасыщенные галечники в низах разреза позволяют сделать вывод о необходимости укрепления фундамента. Следует также отметить, что результаты ранее проведенных изысканий не отличались высоким качеством (например, отсутствуют лабораторные определения прочностных и деформационных показателей глинистых грунтов, хотя отобрано по скважинам 90 монолитов), кроме того, не выполнена договоренность с руководителями ООО «Иркутскстройизыскания» о передаче из лаборатории этой организации результатов определения физико-механических свойств грунтов контрольной скважины.

3. Выделение в разрезе особой группы связных песков подтверждается присутствием в их составе агрегатов и карбонатов, а также повышенной реальной глинистостью, проявлением физико-химической активности и пластичности.

4. Особые признаки установлены для супесей старичной фации (к этой группе они относятся по стандартной гранулометрии и пластичности): высокая степень агрегированности, повышенное содержание гумуса и подвижных форм алюминия, сульфатный тип засоления, значительное содержание кальциевых и железистых карбонатов, отсутствие набухания и возможность усадки.

5. Экспериментальные исследования тиксотропного разупрочнения агрегированных грунтов твердой и тугопластичной консистенции (старичная фация аллювия) подтвердили возможность снижения их прочности при вибрационных воздействиях (напомним, что площадка находится в 9-балльной сейсмической зоне); эксперимент по изучению реологических свойств этих же образцов показал возможность проявления дефор-

маций ползучести – уменьшения прочности при длительном деформировании.

6. На основе результатов доизучения грунтовой толщи площадки «Шелехов» методом «контрольной скважины» установлены признаки, понижающие устойчивость грунтового основания, что подтверждает необходимость своевременной интеграции производственных и научных материалов для целей оптимизации инженерно-геологических изысканий.

Аналитические данные по составу глинистых минералов получены в Центре коллективного пользования Института земной коры СО РАН «Геодинамика и геохронология» (г. Иркутск).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Вашестюк Ю.В., Рященко Т.Г.* Взаимосвязи микроструктуры и свойств глинистых грунтов (опыт применения кластерного анализа) // *Сергеевские чтения*. Вып. 15. – М.: РУДН, 2013. С. 18–23.
2. *Лабораторные работы по грунтоведению: Учебное пособие* / Под ред. В.Т.Трофимова и В.А.Королева. – М.: Высшая школа, 2008.
3. *Лёссовые грунты Монголо-Сибирского региона* / Т.Г.Рященко, В.В.Акулова, Н.Н.Ухова и др. – Иркутск: ИЗК СО РАН, 2014.
4. *Ломтадзе В.Д.* Физико-механические свойства горных пород. Методы лабораторных исследований. – Л.: Недра, 1990.
5. *Методические рекомендации по определению физико-химических свойств почв и грунтов при инженерно-геологических и почвенно-мелиоративных изысканиях* / Под ред. Л.И.Кульчицкого. – М.: Союзводпроект, 1977.
6. *Осипов В.И., Еремина О.Н.* Предисловие // *Сергеевские чтения*. Вып. 12. – М.: РУДН, 2010. С. 5–6.
7. *Проблемы инженерно-геологических изысканий в г. Ханты-Мансийск* / И.В.Абатурова, О.Н.Грязнов, И.А.Савинцев и др. // *Сергеевские чтения*. Вып. 12. – М.: РУДН, 2010. С. 7–11.
8. *Расчетные формулы определения числа пластичности глинистых и лёссовых грунтов по пределу текучести: возможности применения* / Т.Г.Рященко, С.А.Тирских, Ю.В.Вашестюк и др. // *Известия Сибирского отделения секции наук о Земле РАЕН. Геология, поиски и разведка рудных месторождений*. 2015. № 3 (52). С. 78–85.
9. *Рященко Т.Г.* Региональное грунтоведение (Восточная Сибирь). – Иркутск: ИЗК СО РАН, 2010.
10. *Рященко Т.Г., Ухова Н.Н.* Химический состав дисперсных грунтов: возможности и прогнозы (Восточная Сибирь). – Иркутск: Институт земной коры СО РАН, 2008.
11. *Сергеевские чтения*. Научное обоснование актуализации нормативных документов инженерно-геологических и инженерно-экологических изысканий. Вып. 12. – М.: РУДН, 2010.
12. *Сергеевские чтения*. Инженерно-геологические и геоэкологические проблемы городских агломераций. Вып. 17. – М.: РУДН, 2015.

ПАМЯТИ ВАЛЕРИЯ АЛЕКСАНДРОВИЧА НАРСЕЕВА

23 января 2018 г. на 86-м году ушёл из жизни один из крупнейших специалистов страны в области прогноза, поисков и оценки месторождений золота, доктор геолого-минералогических наук, академик РАЕН Валерий Александрович Нурсеев.

После окончания геологоразведочного факультета Казахского горно-металлургического института в 1955 г. В.А.Нурсеев несколько лет работал в производственных организациях Восточно-Казахстанского территориального геологического управления, где зарекомендовал себя подготовленным специалистом, отличным организатором. Поступив в 1961 г. в Казахский институт минерального сырья (КазИМС), он прошёл путь от инженера до заместителя директора. Лично В.А.Нурсеевым и под его руководством были выполнены научно-исследовательские работы по пегматитовым полям Калбы, металлогении тантала Восточного Казахстана, золоторудным месторождениям Бақырчик, Васильковское, Жолбарты, Архарлы, Акжал, Кулуджун, Бестюбе. Эти работы внесли важный вклад в развитие представлений о металлогении Казахстана в целом.

В 1975–1980 гг. В.А.Нурсеев участвовал в составлении карт прогноза для территории Казахстана по различным видам полезных ископаемых, которые не потеряли своей актуальности и в настоящее время. Одновременно с научно-производственной деятельностью разрабатывал вопросы теории рудообразования, в частности, полимеризации при отложении минералов, теории зональности рудных месторождений, активно участвовал в научных конференциях, симпозиумах, семинарах, поддерживая связи с учёными и специалистами нашей страны.

С 1980 г. по 1989 г. В.А.Нурсеев был директором ЦНИГРИ. Основные усилия коллектива, который он возглавлял, были сосредоточены на вопросах развития института, улучшения его кадрового и технического обеспечения. По его инициативе в разных регионах СССР, где возникала необходимость укрепления сырьевой базы алмазов, благородных и цветных металлов (АБЦМ), создавались филиалы ЦНИГРИ – в Мирном, Туле, Баку, Магадане, Архангельске, Семипалатинске, Тярныаузе, в которых в полной мере осуществлялась связь науки и производства.

Валерием Александровичем была внедрена перспективная форма совместных исследований ЦНИГРИ и производственных подразделений – научно-производственных групп, что обеспечило повышение качества разведки и подсчёта запасов основных месторождений цветных, благородных металлов и алмазов. С высокими оценками в ГКЗ СССР были утверждены запасы по месторождениям Олимпиадинское, Майское, Васильковское, Покровское, Высоковольное, Кумторское,



Зун-Холбинское, Большой Канимансур, Кумдыколь, Ломоносовское, Учкулачское, Хандизинское, Филизчайское и др.

Обширные материалы специалистов ЦНИГРИ по изучению месторождений АБЦМ по инициативе В.А.Нурсеева были обобщены в рамках многочисленных монографий и методических рекомендаций, нацеленных на внедрение научных разработок института в практику геологоразведочных работ. До сих пор важную роль для геологов-практиков страны играет подготовленная под редакцией В.А.Нурсеева пятитомная монография «Золоторудные месторождения СССР».

С 1990 г. В.А.Нурсеев работал экспертом и консультантом в ряде крупных горнорудных компаний России, Канады, США, Монголии, Казахстана и др.

В.А.Нурсеев – лауреат Государственной премии СССР, Почётный разведчик недр. За 50 лет работы в геологии им опубликованы десятки отчётов, более 200 статей и 15 монографий. Одна из последних – «Оценка месторождений рудного золота» – вышла в свет в 2017 г.

Валерий Александрович останется в нашей памяти как твёрдый волевой человек и крупный учёный, внесший заметный вклад в дело укрепления минерально-сырьевой базы России и стран СНГ.

*Дирекция ЦНИГРИ
Учёный совет
Коллектив института*