

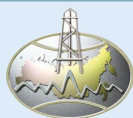
ОТЕЧЕСТВЕННАЯ ГЕОЛОГИЯ

№ 2 / 2020

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

МЕСТОРОЖДЕНИЯ РУДНЫХ И НЕРУДНЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Лихачев А.П.

Опоискованность Норильского района и возможности открытия в нём новых Pt-Cu-Ni месторождений... 3

Бондаренко Н.В., Утенков В.А., Пачерский Н.В., Раков Н.Д.

Геолого-генетическая модель формирования Ветренского золоторудного месторождения (Магаданская область) 17

Зубков Ю.А., Сагир А.В., Чварова Н.В.

«Угуйский» тип большеобъёмных золоторудных месторождений, сформированных в линейной коре выветривания (юго-западная Якутия) 32

Хмельков А.М., Власова Э.А.

Перспективы алмазоносности Лено-Анабарского междуречья севера Якутской алмазоносной провинции 46

ЛИТОЛОГИЯ, ПЕТРОЛОГИЯ, МИНЕРАЛОГИЯ, ГЕОХИМИЯ

Зинчук Н.Н.

Об использовании гипергенных образований кимберлитов при алмазопроисковых работах..... 62

Черных А.В., Новиков Д.А.

Палеогидрогеохимия нефтегазоносных отложений Анабаро-Хатангского бассейна..... 81

75-й ГОДОВЩИНЕ ПОБЕДЫ ПОСВЯЩАЕТСЯ

Сидорова Е.В., Грибовская О.А.

«Шёл к завоёванным победам с фронтовиками полевик...» 97

Ветераны ЦНИГРИ – участники Великой Отечественной войны: Т.Г.Куц, М.А.Васильева..... 117

ПАМЯТНЫЕ ДАТЫ

80-летие Виктора Петровича Орлова..... 119

РЕЦЕНЗИИ

Некрасов Е.М.

Рецензия на книгу П.А.Игнатова, К.В.Новикова «Полевая диагностика тектонических нарушений и флюидоразрывных образований в кимберлитовых вмещающих отложениях нижнего палеозоя»..... 121

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

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

Свидетельство о регистрации в средствах массовой информации

№ 01217 от 03 июня 1992 г.

Подписано в печать 28.04.2020

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

Телефон: (495) 315-28-47. Факс: (495) 315-43-47. E-mail: ogeo@tsnigri.ru

Сайт: http://tsnigri.ru/o_geology

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

Типография ФГБУ ЦНИГРИ

Опоискованность Норильского района и возможности открытия в нём новых Pt-Cu-Ni месторождений

А.П.ЛИХАЧЕВ (Федеральное государственное бюджетное учреждение «Центральный научно-исследовательский геологоразведочный институт цветных и благородных металлов» (ФГБУ «ЦНИГРИ»); 117545, г. Москва, Варшавское шоссе, д. 129, корп. 1)

После обнаружения в 1960 г. Талнахской, а затем Хараелахской интрузий с уникальными по количеству и качеству Pt-Cu-Ni рудами в Норильском районе не были выявлены промышленные объекты подобного типа, несмотря на активное и обширное выполнение поисковых работ. Возможные причины этого и перспективы открытия новых месторождений рассматриваются в данной статье.

Ключевые слова: Норильский район, рудоносные интрузии, поиски и открытия Pt-Cu-Ni месторождений.

Лихачев Александр Петрович
доктор геолого-минералогических наук



alexanderlikhachev@rambler.ru

Searches-exploratory knowledge of the Norilsk region and the possibility of discovering new Pt-Cu-Ni deposits in it

A.P.LIKHACHEV (Central Research Institute of Geological Prospecting for Base and Precious Metals)

After the Talnakh and then Kharaelakh intrusions were discovered in 1960 with unique Pt-Cu-Ni ores in terms of quantity and quality, industrial facilities of this type were not detected in the Norilsk region, despite the extensive and wide search operations. Possible reasons for this and the prospects for discovering new deposits are discussed in this article.
Key words: Norilsk region, ore-bearing intrusions, searches and discoveries of Pt-Cu-Ni deposits.

Известные в Норильском районе рудоносные интрузии и связанные с ними Pt-Cu-Ni месторождения (рис. 1) практически все (за исключением Хараелахской) имели выход на дневную поверхность и были обнаружены в обнажениях. Хараелахская интрузия находится в тесной ассоциации с Талнахской, и потому её открытие тоже является результатом изначально маршрутных поисков. Другие (слаборудоносные и безрудные) известные в районе интрузивные тела также в основном были выявлены по их выходам на дневную поверхность или под четвертичные отложения.

Практика показала, что с открытием Талнахского и Хараелахского (Октябрьского) месторождений исчерпались возможности обнаружения новых рудных объектов поверхностными поисками. К этому времени большая часть территории района была достаточно полно исследована маршрутными работами и сравнительно неглубоким бурением скважин.

В дальнейших поисках стало выполняться бурение более глубоких скважин. На рис. 2 в качестве примера приведена уменьшенная копия геологической карты масштаба 1:50 000 с пробуренными и намеченными к бурению скважинами. Она была приложена к «Проекту детальных поисков сульфидных медно-никелевых руд в центральной части Норильской мульды (Междуречье Чибичете–Южный Ергалах) на 1981–1984 гг.».

На карте видно, что одна часть пробуренных и намечаемых к бурению скважин находится около и в пределах известных рудоносных интрузий (Норильск I, Черногорская и Норильск II), другая привязана к гравитационным и магнитным аномалиям, третья размещена произвольно, а четвертая распределена по профилям, частично располагаясь в пределах и на продолжении профилей более раннего бурения. Аномальные площади относительно небольшие, в основном имеют округлые очертания. Проектируемые на них

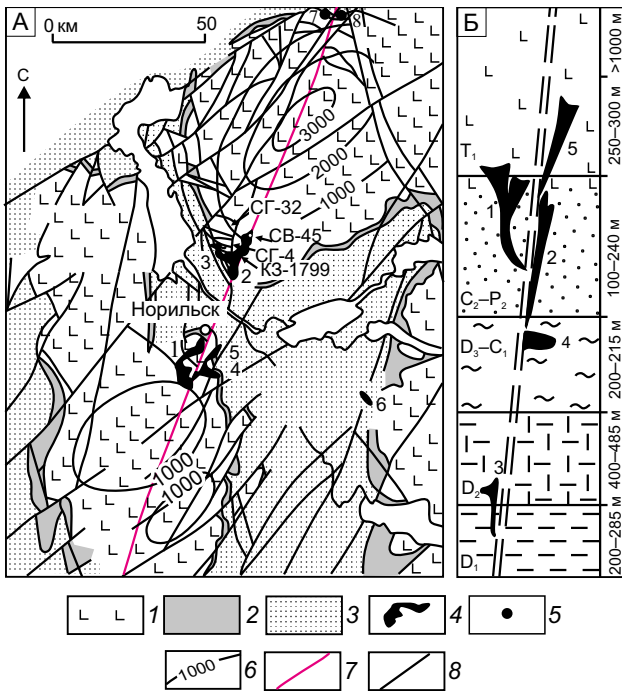


Рис. 1. Геологическая схема Норильского района и размещение в нём рудоносных и некоторых сульфидоносных интрузий (А) и уровни локализации основных рудоносных интрузий (Б):

1 – платобазальты; 2–3 – осадочные породы: 2 – тунгусской серии, C_2 – P_2 , 3 – верхнего девона–нижнего карбона; 4 – рудоносные интрузии (1 – Норильск I, 2 – Талнахская, 3 – Хараелахская, 4 – Черногорская, 5 – Норильск II, 6 – Имангдинская); 5 – сульфидоносные интрузии (7 – Тальминская, 8 – Клюквенная); 6 – изопакиты базальтов, м; 7 – Норильско-Хараелахский разлом; 8 – локальные и региональные разломы; СГ-32, СГ-4, КЗ-1799, СВ-45 – обозначения скважин

скважины преимущественно одиночные, размещаются в разных местах.

Проектирование и выполнение поисковых работ в большей части Норильского района базируются на двух главных закономерностях: приуроченности известных промышленно рудоносных интрузий и месторождений к глубинному Норильско-Хараелахскому (Н-Х) разлому и нахождении их в низах лавовой толщи и под ней в терригенных отложениях тунгусской серии (C_2 – P_2) и терригенно-карбонатных образованиях раннего карбона и девона (см. рис. 1).

Отображённые на рис. 2 проектные скважины в большинстве своём соответствуют этим закономерностям. В плане они находятся в сфере влияния Н-Х разлома на окружающую среду, а по глубине пересекают перспективные горизонты.

Однако ни одна из пробуренных по данному и более поздним проектам скважин не вскрыла интрузива, содержащего значительное количество руд. Причин может быть несколько: 1) пропущены рудоносные массивы из-за слишком больших интервалов между скважинами, 2) не опознана принадлежность пересечённых скважинами интрузивных тел к перспективно рудоносным образованиям и 3) отсутствие на данной площади рудных объектов промышленной значимости.

Заключение об отсутствии промышленно рудоносных интрузий может быть сделано только после выяснения вопросов, касающихся двух первых причин.

Наличие первой причины (большие интервалы между пробуренными скважинами) не исключается. Однако простое уменьшение интервалов практически невозможно. Для этого надо иметь определённые предпосылки. Иначе придётся разбуривать всю площадь по сетке, приближающейся к поисково-разведочной сети известных рудоносных интрузий и связанных с ними Pt-Cu-Ni месторождений (см. рис. 2).

Неопознанность принадлежности к перспективно рудоносным интрузиям пересекаемых скважинами магматических тел (ошибочное отнесение их к безрудным) может быть связана с неполным учётом свойственных рудным интрузивам особенностей и закономерностей в их проявлении.

Дело в том, что в многолетней практике геологических работ в Норильском районе доминировал поиск без «посредников». Главная задача состояла в прямом (непосредственном) обнаружении рудной Pt-Cu-Ni минерализации с последующим разбуриванием содержащих её интрузивных массивов. Однако такие действия не всегда приводили (и чаще не приводили) к открытию промышленных залежей руд.

Связано это с тем, что наличие рудной минерализации не является гарантией её промышленных скоплений в магматическом теле. Для их образования требуются определённые условия внедрения и становления сульфидоносных магм, которые, в свою очередь, проявляются в специфических особенностях и закономерностях в строении, морфологии и составе формируемых ими интрузий. Именно эти «побочные» сведения позволяют выделять наиболее перспективные (промышленно рудоносные) интрузивные массивы и тем самым снимать отмеченную выше необходимость уменьшать интервалы между скважинами, ориентируясь только на прямое открытие рудных залежей [8].

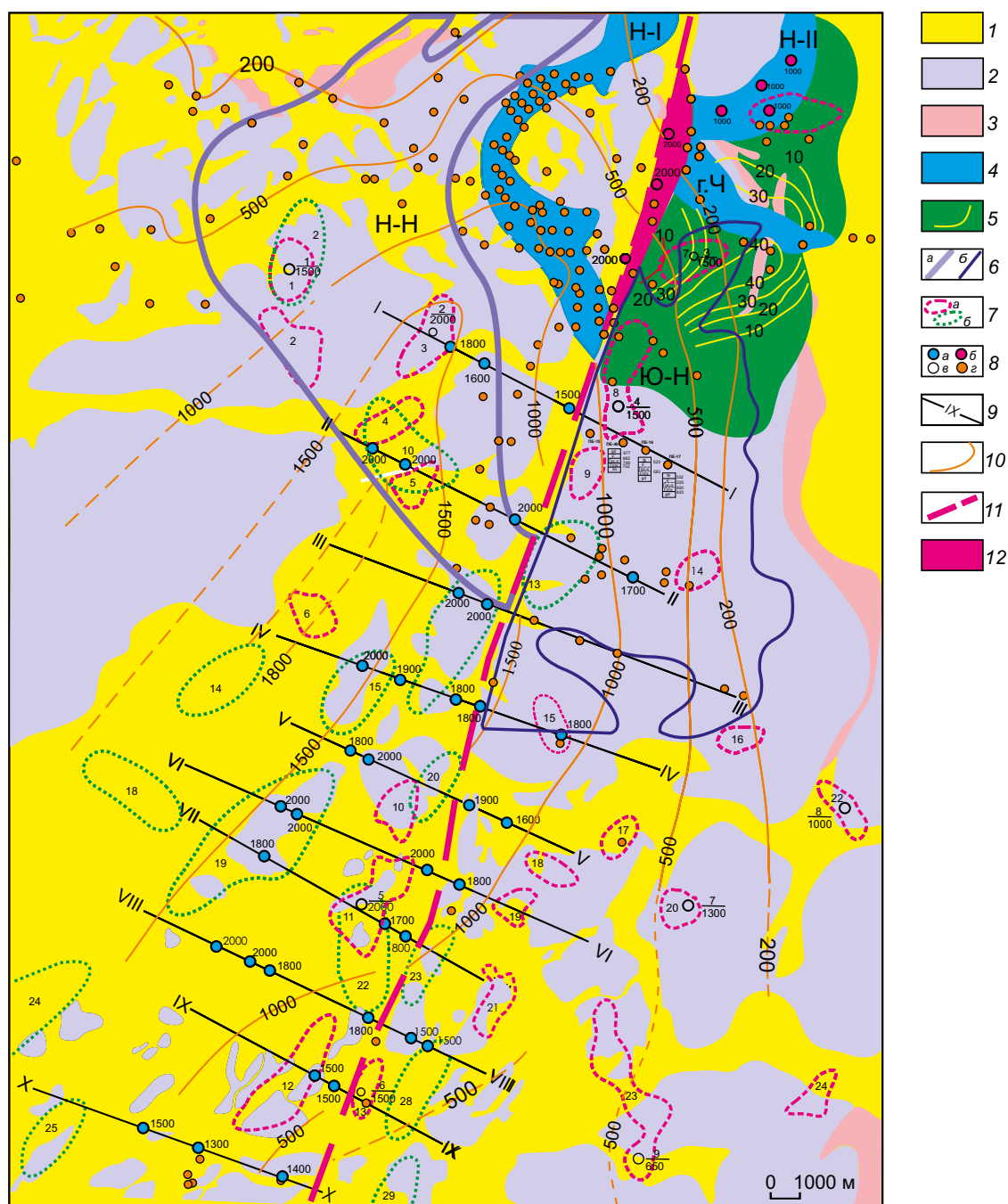


Рис. 2. Норильская площадь с проектными и пробуренными скважинами. По данным Норильской геологоразведочной экспедиции (НКГРЭ), с дополнениями:

1 – четвертичные отложения; 2 – траппы; 3 – осадочные образования перми, карбона и девона; 4 – рудоносные интрузии с частично прилегающими площадями: Норильск I (Н-I), Норильск II (Н-II), Черногорская (г. Ч); 5 – силл лейкократового габбро и его изопакиты, м [13]; 6 – контуры интрузий [13]: а – Нижненорильской (Н-Н), б – Южнонорильской (Ю-Н); 7 – контуры аномалий и их номера: а – магнитных, б – гравитационных; 8 – буровые скважины: а – проектные, б – намечаемые к бурению в 1982 г., в – места заложения поисковых скважин, рекомендуемых по геофизическим данным, г – пробуренные (цифры у проектируемых скважин – их глубина, м, над чертой – порядковые номера скважин, намечаемых по геофизическим данным); 9 – поисковые профили и их номера; 10 – изогипсы подошвы образований тунгусской серии, м; 11 – Норильско-Хараелахский разлом; 12 – площадь грабена Норильско-Хараелахского разлома

К специфическим относятся следующие особенности и закономерности: 1) двучленное строение рудоносных интрузий; 2) вытянутость рудоносной части в одном направлении на расстоянии до 15 км и более при ширине от 500 до 2000 м; 3) «вставленность» рудоносных массивов во вмещающую среду без признаков существенного её нарушения и «бесследного» исчезновения материала, занятого интрузивами пространства; 4) аномальные объёмы, мощности и массы метаморфических образований рудоносных интрузий, резко отличающиеся от близких по составу слаборудоносных и безрудных интрузивов; 5) «импульсивное» изменение площади поперечного сечения, мощности и массы интрузий по их длине; 6) неравномерное распределение рудного вещества по длине интрузивов. Подробно эти закономерности рассмотрены в работе [8]. В настоящей статье приведена лишь сокращённая их характеристика.

Двучленное строение рудоносных интрузий. Рудоносные интрузии Норильского района состоят из двух частей (рис. 3, А): периферической силлообразной, слабосульфидной (лейкократовой, существенно габбровой) и внутренней, вытянутой в одном направлении хонолитообразной, собственно рудоносной (меланократовой, габбро-долеритовой) [4, 5, 7, 8, 14].

Периферический силл изменяется в мощности от первых метров до 50–70 м, а по протяжённости от десятков метров до 2 км. Состоит он из преобладающего по количеству лейкократового габбро («внешнего» габбро) вверху и более меланократового таксито-пойкилоофитового (до пикритового) и контактового габбро-долеритов внизу (см. рис. 3, Б).

Лейкократовое габбро [4, 5] представляет собой крупнозернистую породу светло-серого цвета с изменяющейся от габбровой до офитовой структурой (см. рис. 3, В, Г). Большую его часть составляет резко зональный плагиоклаз состава An_{45-100} (60–90%). Присутствуют пироксены, преимущественно авгит (5–30%), оливин (0–10%), рудные, в том числе медно-никелевые сульфиды (1–3%), вторичные и акцессорные минералы. В межзерновых участках встречаются округлые выделения слабораскристаллизованного стекла, обычно замещённого хлоритообразным материалом. Стекло образовано из-за быстрого охлаждения габбрового силла.

По своей структуре, химическому и минералогическому составам лейкократовое габбро – типично магматическая порода протокумуля-

тивного происхождения. Генетическая сущность пород этого вида (скопление интрателлурических протокристаллов плагиоклаза) раскрыта В.С.Соболевым в 1936 г. на примере крупнозернистого анортитового габбро (порфириовидных анортитовых диабазов) скалы Амо (см. рис. 3, Д, Е), образцов Норильска (коллекция И.Ф.Григорьева) и литературных данных по другим районам мира [12].

Массовые скопления протокристаллов основного плагиоклаза могут осуществляться как при кристаллизации практически бессульфидных мафических (толеитовых) магм ($MgO \leq 8$ мас.%), так и сульфидоносных мезомафических (для Норильска MgO 8–12 мас.%), формирующих платино-медно-никелевые месторождения. В последних обычно присутствует небольшое количество сульфидных выделений, что позволяет отличать их от первых.

В Норильском районе наличие лейкократового габбро свидетельствует о проявлении глубинной (на пути внедрения) кристаллизации и дифференциации магмы с накоплением кристаллов основного протоплагиоклаза в головной части магматической колонны и вероятном скоплении рудного вещества в виде сульфидной жидкости в тыловой (последующей) части [7].

Глубинная кристаллизация плагиоклаза с его всплытием и отделением от оставшейся (основной) части магматического расплава увеличивает в последнем количество сульфидной фракции из-за уменьшения объёма силикатной составляющей. И именно за счёт неё формируются Pt-Cu-Ni месторождения. Поэтому чем больше образуется лейкократового габбро, тем больше скапливается рудного вещества в магматической колонне, и, соответственно, образуются более богатые месторождения. То есть количество рудного вещества в месторождениях находится в прямой («комплементарной») зависимости от объёма лейкократового габбро в рудоносных интрузиях. Следовательно, проявления больших скоплений крупнозернистого лейкократового габбро являются указанием на возможность нахождения в магматическом теле промышленных залежей Pt-Cu-Ni руд.

Таким образом, в вопросах прогноза и поисков месторождений лейкократовое габбро периферии интрузий имеет исключительно важное значение, так как представляет собой легко опознаваемую головную (наиболее приближающуюся к земной поверхности и нередко обнажающуюся

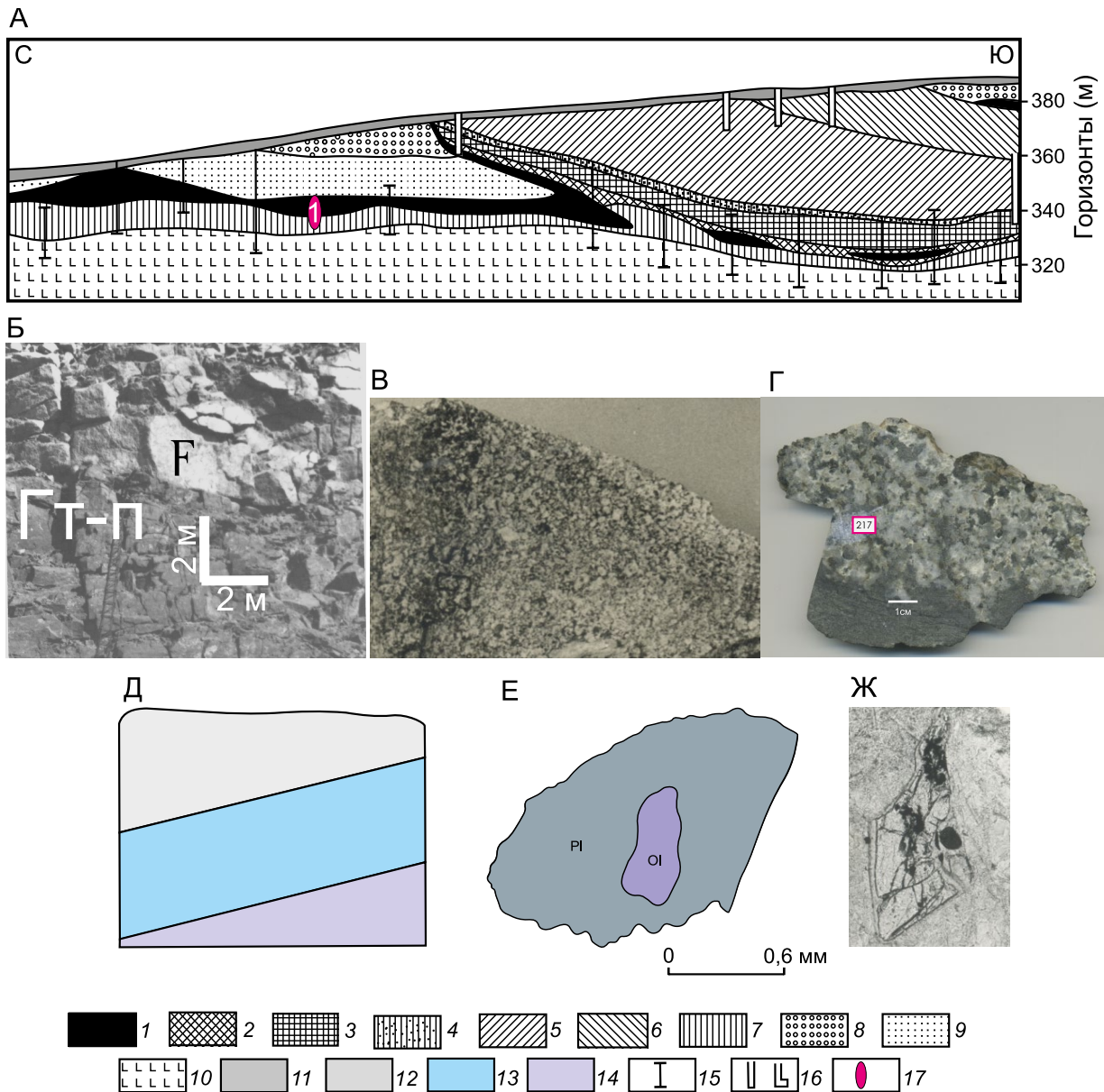


Рис. 3. Проявления лейкократового габбро:

А – разрез северной части западной ветви интрузии Норильск I (горизонтальный масштаб равен вертикальному); Б – sill лейкократового габбро, дифференцированный на лейкократовую часть сверху (F) и меланократовую (Гт-п) внизу (место 1 на рис. А); В – «внешнее» габбро, ум. 3; Г – «внутреннее» габбро в контакте с пикритовым габбро-долеритом внизу, интрузия Норильск I; Д – зарисовка «слоистой интрузии порфириовидного анортитового диабаз» скалы Амо [12] (значки заменены цветом); Е – включение оливина (Ol) в центре плагиоклаза (Pl) первой генерации анортитового диабаз скалы Амо [12]; Ж – ромбообразное зерно магнезиального протооливина в ассоциации с хромитом (чёрное округлое выделение) и сульфидами (тёмные более мелкие проявления), включённые в среднюю часть крупного кристалла протоплагиоклаза лейкократового габбро интрузии Норильск I, ув. 20 (свидетельство наличия и кристаллизации в магме протооливина, хромита и рудных составляющих); 1 – лейкократовое габбро; 2–7 – габбро-долериты: 2 – такситовый, 3 – пикритовый, 4 – оливин-биотитовый, 5 – безоливиновый и оливинсодержащий, 6 – безоливиновый призматически зернистый (+ габбро-диорит), 7 – контактовый и таксито-пойкилофитовый; 8–10 – базальты: 8 – толеитовый, 9 – плагиоклазовый, 10 – андезитовый; 11 – четвертичные отложения; 12–14 – диабазы: 12 – мелкозернистый миндалекаменный, 13 – порфириовидный, 14 – среднезернистый; 15 – буровые скважины; 16 – разведочные колодцы; 17 – место рис. 3, Б

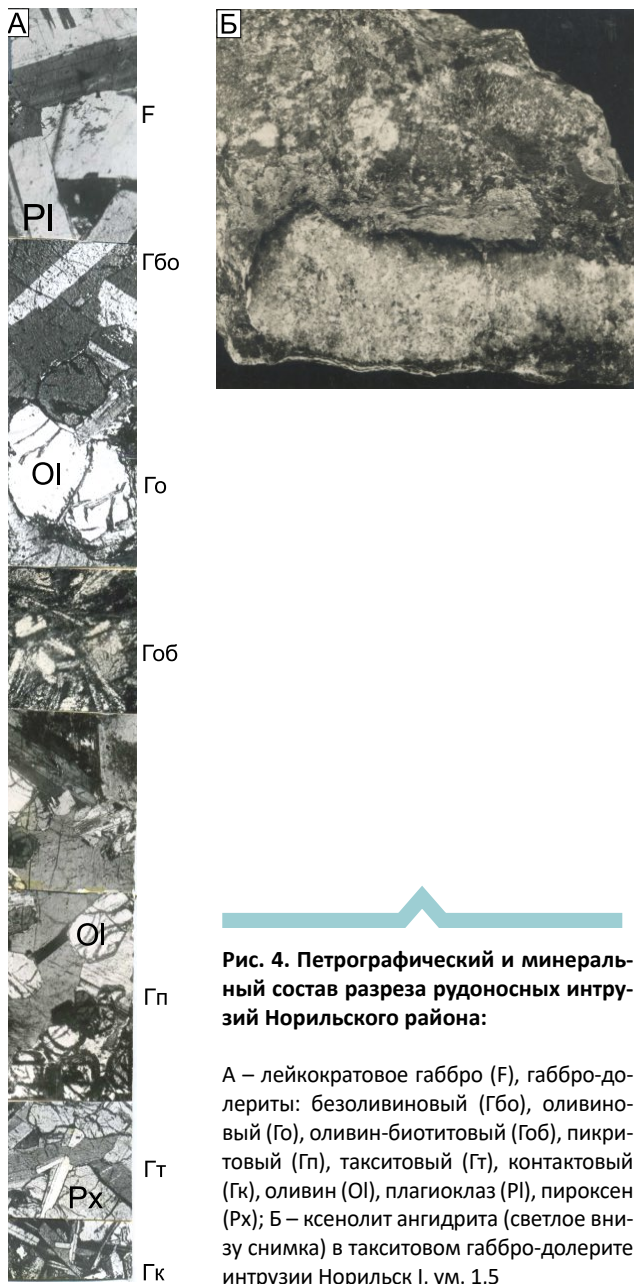


Рис. 4. Петрографический и минеральный состав разреза рудоносных интрузий Норильского района:

А – лейкократовое габбро (F), габбро-долериты: безоливиновый (Гбо), оливиновый (Го), оливин-биотитовый (Гоб), пикритовый (Гп), такситовый (Гт), контактовый (Гк), оливин (Ol), плагиоклаз (Pl), пироксен (Px); Б – ксенолит ангидрита (светлое внизу снимка) в такситовом габбро-долерите интрузии Норильск I, ум. 1,5

на ней) часть рудоносной магматической колонны, распространяющуюся на большую площадь.

Рудоносная часть является основным объектом поиска. Она находится на продолжении головной (габбровой) части магматической колонны (см. рис. 3, А). При мощности 50–300 м дифференцирована от оруденелых контактового (Гк), такситового (Гт) и пикритового (Гп) габбро-долеритов внизу, через сульфидоносный оливин-биотитовый (Гоб) и слабосульфидоносные оливиновый (Го), оливинсодержащий (Гос) и безоливиновый (Гбо)

габбро-долериты до практически бессульфидного габбро-диорита (рис. 4, А). В верхнем эндоконтакте находятся фрагментарные тела лейкократового габбро («внутреннее» габбро), верхних контактового (Гвк), такситового (Гвт), пикритового (Гвп) и троктолитового (Гвтр) габбро-долеритов, которые по своему составу и структуре аналогичны породам периферического габбрового силла и являются его реликтами. Они подвержены вторичным изменениям, и в них проявлена наложенная вкрапленная минерализация халькопирит-пентландит-пирротинового состава, нередко отличающаяся относительно высоким содержанием металлов платиновой группы [10].

При отсутствии в интрузиях массовых скоплений интрателлурического плагиоклаза и, соответственно, условий для накопления рудного вещества на пути подъема магм они содержат в основном бедную вкрапленную минерализацию первичных сульфидов. Поэтому такие интрузии бесперспективны на обнаружение в них богатых платино-медно-никелевых руд. В Норильском районе к ним относятся все известные интрузивы, не содержащие значительных скоплений лейкократового габбро, в том числе и имеющие Pt-Cu-Ni минерализацию.

Это связано с тем, что мантийные источники мафит-ультрамафитовых магм содержат небольшое (≤ 1 мас.%) количество сульфидного вещества, которое способно удерживаться в мантии (избегать погружения в более глубокие горизонты) при общей дифференциации расплава исходного материала планеты [5, 7]. Плавление такого вещества при зарождении магм и быстрое их поступление в земную кору не могут приводить к существенной концентрации сульфидов.

Нередко допускаемое образование Pt-Cu-Ni сульфидов месторождений Норильского района вследствие ассимиляции магмой ангидрита вмещающих толщ [1, 2, 9] практически невозможно из-за более высокой температуры его плавления (1450°C) по сравнению с температурой внедряющейся магмы (1200°C – 1350°C) и слабой растворимости в ней. В наблюдаемых рудоносных интрузиях Норильска ангидрит не усваивается магмой (см. рис. 4, Б).

Итак, лейкократовое габбро является непреходящим продуктом кристаллизации сульфидоносных магм, комплементарным рудному веществу формирующих ими Pt-Cu-Ni месторождений. Поэтому его присутствие в значительном количестве представляет собой исключительно

надёжный фактор в выявлении промышленно рудоносных интрузий. Эта закономерность является главной в оценке перспективности как отдельных магматических тел, так и различных по размеру площадей.

Что касается повышенного содержания тяжёлого изотопа серы (^{34}S) в сульфидных рудах месторождений Норильского района, то оно вполне может быть обусловлено закономерностями изотопного фракционирования мантийных сульфидов на стадиях зарождения магм, их подъёма в земную кору и становления в конечных камерах внедрения [6, 7].

Вытянутость рудоносной части в одном направлении на расстоянии до 15 км и более при ширине от 500 до 2000 м. Эта особенность свойственна только рудоносным интрузивам. Безрудные (трапповые) интрузии имеют площадное, силлообразное распространение, а слаборудоносные (Нижнеталнахско-Нижненорильского типа) – в основном плитообразное (см. рис. 2).

Её возможная причина связывается с различием в плотности внедряемых магм и вмещаемых пород [5, 8]: наиболее тяжёлые сульфидоносные магмы, существенно преобладая над плотностью вмещающих пород, «вдавливались» в подстилающие толщи и тем самым профилировали своё движение в одном направлении. Другая, сочетающаяся с первой причина может состоять в однонаправленном плавлении высокотемпературной (до $\sim 1300^\circ\text{C}$) сульфидоносной магмой вмещающих пород на фронте внедряющейся магматической колонны, в месте замыкания конвектирующего потока магмы с образованием однонаправленного канала [8].

Практическое значение этой особенности заключается в возможности отличать перспективно рудоносные магматические тела от безрудных тел и выделять их с помощью геофизических методов на ранней стадии поисковых работ.

«Вставленность» рудоносных массивов во вмещающую среду без признаков существенного её нарушения и «бесследного» исчезновения материала, занятого интрузивами пространства. Пространство, требуемое для размещения внедряемой магмы в земной коре, может создаваться несколькими процессами: 1) раздвижением под напором магмы слоёв в разные стороны с оставлением при этом следов и признаков проявления процесса в виде смещения исходных границ; 2) уплотнением (также под давлением магмы) вмещающей среды со смещением и без смещения ис-

ходных границ; 3) вытеснением магмой материала коры с оставлением следов и признаков происшедшего; 4) «вымыванием» потоком магмы с разрушением вмещающего материала плавлением, растворением и механическим воздействием и выносом разрушенного материала за пределы магматического тела. В образовании рассматриваемых рудоносных интрузий наиболее вероятен последний вариант, так как для других не имеется существенных признаков их проявления.

Видимость «вставленности» интрузий свойственна как богатым, так и обеднённым рудным веществам интервалам рудоносных интрузий. Поэтому выявление её наличия при пересечении скважинами сравнительно бедного рудой тела может указывать на возможную его принадлежность к рудоносным массивам и нахождение более богатых руд в продолжении этого тела.

Как показано в [8], требуемое для рудоносных интрузий пространство могло «вымываться» внедряющейся магмой вследствие её продольной циркуляции от тыловых, наиболее высокотемпературных частей магматической колонны (вплоть до питающего магматического очага) к фронтальным, существенно охлаждённым и обратно. При этом проявляется та же конвекция магм, которая наблюдается в каналах современных вулканов и в их лавовых озёрах. Вынос разрушенного материала мог осуществляться обратным потоком магмы, возвращающимся по наклонному каналу (до 30° в наблюдаемой части интрузий) на глубинные уровни и формирующим свободное пространство, подобное по конфигурации лавовым трубам.

Таким образом, «вставленный» вид является характерной особенностью рудоносных интрузий Норильского района, которая может использоваться в поисковой практике. Она обусловлена повышенной плотностью, высокой температурой и субгоризонтальным проникновением магмы, обеспечивающими её однонаправленное внедрение, продольную конвекцию расплава, плавление и удаление материала вмещающих пород, скопление рудного вещества.

Аномальные объёмы, мощности и массы метаморфических образований рудоносных интрузий, резко отличающиеся от близких по составу слаборудоносных и безрудных интрузивов. Рудоносным интрузиям свойственно превышение объёма, мощности и массы экзоконтактовых образований по отношению к магматическому телу, а слаборудоносным и безрудным – наоборот,

что особо важно в поисковом деле. Так, например, у рудоносной Хараелахской интрузии в участках её мощности от 50 до 100 м мощность только роговиков верхнего экзоконтакта составляет 150–200 м. А у расположенного здесь же (в этих же вмещающих толщах) слаборудоносного Нижнеталнахского интрузива при его мощности до 400 м общая мощность экзоконтактовых метаморфитов не превышает 40 м [8, 13]. В Талнахском интрузиве при его общей массе ~5,3 млрд. т суммарная масса роговиков верхнего и нижнего экзоконтактов составляет ~9,8 млрд. т [5].

Наблюдается явное превышение энергетических затрат на преобразование вмещающей среды в случае рудоносных интрузий по сравнению со слаборудоносными и безрудными.

Это было возможным при длительном поступлении во вмещающую среду стабильно высокотемпературного ($\geq 1000^\circ\text{C}$) теплового потока, постоянно поддерживающегося «свежей» магмой. В случае Норильских рудоносных интрузий – продольной конвекцией магмы. В них она постоянно доставляет «свежий» высокотемпературный расплав в головные части магматической колонны и тем самым обеспечивает длительный высокотемпературный нагрев вмещающей среды. При одноактном поступлении магмы в конечные камеры внедрения её конвекция ограничена и изменение вмещающей среды соответствует возможностям теплового запаса одноактной порции магматического расплава. Именно этот вариант свойственен слаборудоносным и безрудным интрузиям.

«Избыточные» преобразования вмещающих интрузии пород обнаруживаются как геофизическими методами, так и буровыми скважинами.

«Импульсивное» изменение площади поперечного сечения, мощности и массы интрузий по их длине. Изменение площади поперечного сечения по протяжённости рудоносной части интрузивов выражено в чередовании сравнительно коротких суженных участков («пережимов») с более протяжёнными расширенными, представляющими собой углубления с плоской кровлей и прогнутым дном. Они контролируют скопление рудных масс, приуроченных в основном к переходу суженного в расширенный участок. В поисковой практике эти углубления могут выявляться геофизическими методами и подтверждаться бурением скважин.

Например, в Талнахском интрузиве на расстоянии 17,2 км выделяется шесть пережимов протя-

жённой 100–400 м и семь расширений – камер длиной 800–1600 м [5, 8]. В пережимах площадь поперечного сечения меняется от 60 до 130 тыс. м², а в расширениях – от 84 до 204 тыс. м². Переход суженных участков в расширенные обычно совершается довольно резко, достигая двукратного и большего увеличения площади поперечного сечения на расстоянии порядка 400 м и 50 м уступа по высоте на 100 м длины. Соответственно, по длине интрузива изменяется его масса при общем её увеличении в направлении фронта интрузии (с севера на юг) и наибольшем скоплении в предфронтальной части.

Изменение площади поперечного сечения интрузива происходит в одних случаях за счёт изменения его ширины, во-вторых – мощности («высоты»), а в-третьих – и того, и другого. Увеличение сечения за счёт ширины приводит к рассредоточению массы и уменьшению мощности кумулятивного горизонта (Гп) и рудного вещества, тогда как увеличение за счёт мощности – к их большему концентрированию, размещению на меньшей площади по сравнению с увеличением сечения за счёт ширины интрузива.

Наблюдаемое изменение площади поперечного сечения по длине интрузива свидетельствует о неравномерном («импульсивном») и поэтапном поступлении магмы в конечную камеру её внедрения. Причиной тому могли быть чередование периодов накопления магмы в питающем очаге до критических значений по давлению и поэтапный подъём её в вышележащие толщи. Они приводят к прорыву фронтальной камеры и дальнейшему продвижению магматического расплава (подобные перерывы в поступлении магм и её прорывы во вмещающих толщах свойственны всем известным палео- и современным вулканам). И чем длительнее происходит накопление в питающем очаге критических величин, тем более объёмными становятся фронтальные камеры внедрения из-за более продолжительной (неостанавливающейся) циркуляции (конвекции) магмы и большего выноса из них материала вмещающих толщ обратным потоком.

Пережимы могут представлять собой участки прорыва магмы из расширенной камеры во время достижения в ней сверхкритических величин по давлению. После этого снова наступает спокойное состояние, когда продольно циркулирующая магма «вырабатывает» новое расширенное пространство. И так до следующего достижения критического давления и последующего нового

прорыва, пока не иссякнут «силы» магматического очага для обеспечения продвижения интрузива вперёд.

Пережимы и расширения магматического канала меняют скорость течения в них магмы, приводят к изменению мощности и массы дифференциатов интрузива и способствуют накоплению рудного вещества. При этом кумулятивные минералы (в основном оливин) и рудное вещество (частицы сульфидного расплава) оседают и накапливаются преимущественно в интервалах снижения скорости течения магмы, а именно, в переходах суженных в расширенные участки, как это наблюдается в реальности [5, 8].

Увеличение мощности рудоносных интрузий в основном осуществляется за счёт углубления их нижней границы, выраженного «исчезновением» подстилающих пород рамы. Эти углубления пунктирно трассируются в «фарватере» интрузива на фоне его практически повсеместной и непрерывной 100-метровой мощности.

Пунктирное распределение углублений по длине интрузива может соответствовать остановкам в продвижении магматической колонны, а их образование обуславливаться длительной конвекцией магмы на остановках (в одном месте), обеспечивающей значительный вынос корового материала и формирование пространства для ёмких магматических камер – расширенных участков интрузий.

Направленность и ориентация углублений отражают собой нахождение фарватера магматического потока. А наличие их свидетельствует о возможности накопления в интрузиве промышленных залежей руд. Именно к ним тяготеет наибольшее скопление руд в известных рудоносных интрузиях Норильского района [5, 8].

Отмеченные закономерности реально существуют и контролируют рудоносность магматических тел. Выявление и использование их в прогностно-поисковых целях могут обеспечить полноту и надёжность оценки продуктивности перспективных площадей.

Неравномерное распределение рудного вещества по длине интрузивов. Рудоносным интрузивам Норильского района свойственно неравномерное, но вполне закономерное распределение и изменение количества и состава рудного вещества вдоль их протяжённости: наибольшее накопление его приурочено к фронтальным и предфронтальным частям интрузивов, а по длине интрузивных тел – к местам перехода суженных в расширенные участки. Изменение проявляется во всех

составляющих: в общей рудной (сульфидной) массе, в типах руд и в количестве рудных компонентов – в минеральном и химическом составах [5, 8].

Изменение количества сульфидного вещества в отношении к силикатной массе по длине Талнахского интрузива колеблется от $\leq 0,01$ (1,0 мас.%) до 0,12 (12,0 мас.%). Проявлено семь основных максимумов. Практически каждый из них расположен в переходе суженного в более расширенный участок интрузии по направлению внедрения и течения магмы.

В изменении по типам рудного вещества максимумы скопления массивных руд совпадают с максимумами вкрапленных сульфидов, и вместе они приурочены к переходам суженных в расширенные участки.

Распределение и изменение содержания рудных компонентов (Ni, Cu Co, Pt, Pd, Rh и Au) по длине интрузий имеют осцилляционный характер с увеличением их содержания от тыловых к фронтальным частям интрузий. Причём это увеличение коррелируется с увеличением в том же направлении общей массы рудного вещества и резким повышением в пиках (максимумах) содержания меди по отношению к никелю.

Так, в Талнахской интрузии проявлено семь основных пиков содержания меди и никеля, каждый из которых соответствует повышенному количеству рудного (сульфидного) вещества, приуроченному к местам перехода суженных в расширенные участки интрузива. Наиболее резкое увеличение содержания меди происходит в основном за счёт богатых Cu массивных руд.

Существует общая закономерность, свойственная Pt-Cu-Ni месторождениям. Сульфидное вещество практически во всех своих выделениях дифференцировано в направлении от бедных к богатым медью разновидностям. Это связано с большим температурным и временным интервалами кристаллизации исходного сульфидного расплава (от $\sim 1100^\circ$ до $\sim 850^\circ$ C), предкристаллизационным его разделением на относительно высокотемпературную, богатую железом («пирротинную») и низкотемпературную, богатую медью и МПГ («халькопиритовую») жидкости и более ранней (опережающей) кристаллизацией пирротина, позволяющей медистой фракции мигрировать на малые и большие расстояния [4].

В рудоносных интрузивах обогащение сульфидов медью всегда сопровождается увеличением в них содержания МПГ. Этот факт является исключительно важным поисковым признаком,

так как медистые сульфиды безрудных интрузий практически всегда бедны платиноидами.

Рассмотренные особенности и закономерности [8] позволяют сформулировать в упрощённом виде оптимальную последовательность выполнения геологоразведочных работ в ходе поисков Pt-Cu-Ni месторождений: 1) выделение магматического поля с проявлениями лейкократового габбро; 2) выявление в нём перспективного интрузивного тела, вытянутого в одном направлении; 3) выяснение наличия в этом теле неравномерного распределения магматических масс, выраженного в чередовании по длине интрузива суженных с расширенными (сравнительно мощными, углублёнными в подошве) участками; 4) детальное опоскование мест перехода суженных в расширенные участки; 5) нахождение в них наибольших скоплений рудных веществ.

При оценке перспективности конкретных площадей и поиске рудоносных интрузий в Норильском районе первоочередными и главными в применении являются первые две из перечисленных выше особенностей и закономерностей – наличие лейкократового габбро и признаки вытянутости магматических тел в одном направлении.

К настоящему времени на территории Норильского района они выявлены и известны в пределах Норильской, Талнахской и Имангдинской площадей.

В пределах Норильской площади (см. рис. 2) лейкократовое габбро проявлено в рудоносных интрузиях Норильск I, Норильск II и Черногорская. Первая из них находится в левом крыле Н-Х разлома, а две другие в правом, где сравнительно широко распространён силл лейкократового габбро. Его «избыточность» здесь может быть связана с наличием ещё не выявленных рудоносных массивов. А в тыловой части Черногорской интрузии, опущенной грабеном, возможно нахождение значительного скопления рудного вещества [7].

Находящийся южнее Южно-Норильский интрузив (см. рис. 2) характеризуется малоблагоприятными свойствами для накопления рудных веществ. У него нет силла лейкократового габбро. Внутреннее габбро встречается редко и в небольших количествах [13], как и вкрапленная медно-никелевая минерализация (скв. ПЕ-460, Ni 11% и Cu 0,25% на 2,7 м мощности; ПЕ-16, соответственно, 0,28 и 0,43 на 0,25 м; ПЕ-170, 56 и 0,75 на 0,25 м). Конфигурация интрузива

(большая «распластованность») тоже является неблагоприятной для рудонакопления.

В самой южной части восточного крыла Н-Х разлома имеется необычная магнитная аномалия № 23, вытянутая в одном направлении. Она может быть связана с нахождением здесь рудного массива, согласно одной из рассмотренных выше закономерностей (№ 2), свойственных рудоносным интрузиям.

Территория, находящаяся западнее Н-Х разлома и интрузии Норильск I, на изученных глубинах не имеет значительных проявлений лейкократового габбро и потому является малоперспективной для обнаружения промышленных скоплений Pt-Cu-Ni руд.

Талнахская площадь Норильского района (рис. 5) весьма насыщена лейкократовым габбро. Большая часть его ассоциирует с Талнахским и Хараелахским рудоносными интрузивами, размещаясь внутри интрузий («внутреннее» габбро) и являясь их периферией и фронтальной составляющей («внешнее» габбро).

Как видно из рис. 5, изопакиты тел внешнего габбро в большинстве своём свидетельствуют об уменьшении их мощности с удалением от рудоносного массива и тем самым указывают направление и отражают сложный характер внедрения этих тел. Во многих случаях они имеют вид несколько обособленных клинообразных ответвлений, сохраняя при этом общее поле распространения лейкогаббро вокруг Талнахского и Хараелахского рудоносных интрузивов.

Особыми являются изопакиты габбрового тела северо-восточной части Талнахского рудного поля (на рис. 5 жёлтого цвета). Они проявляют увеличение мощности лейкократового габбро с удалением от рудоносного массива. В существующих классификациях магматических образований района это тело относится к самостоятельному массиву [11, 13 и др.], именуемому Олорской интрузией, что и подтверждается данными изопакитами. Следовательно, здесь возможно продолжение лейкократового габбро с углублением и переходом в рудоносную часть интрузива.

На территории Имангдинского участка (см. рис. 1) существенные проявления лейкократового габбро имеются только в дифференцированной интрузии реки Имангды (рис. 6). Его количество составляет ~10% от общего объёма выявленного интрузива, и представлено оно только разновидностью «внутреннего» габбро. Тела лейкократового габбро в основном расположены в верхней

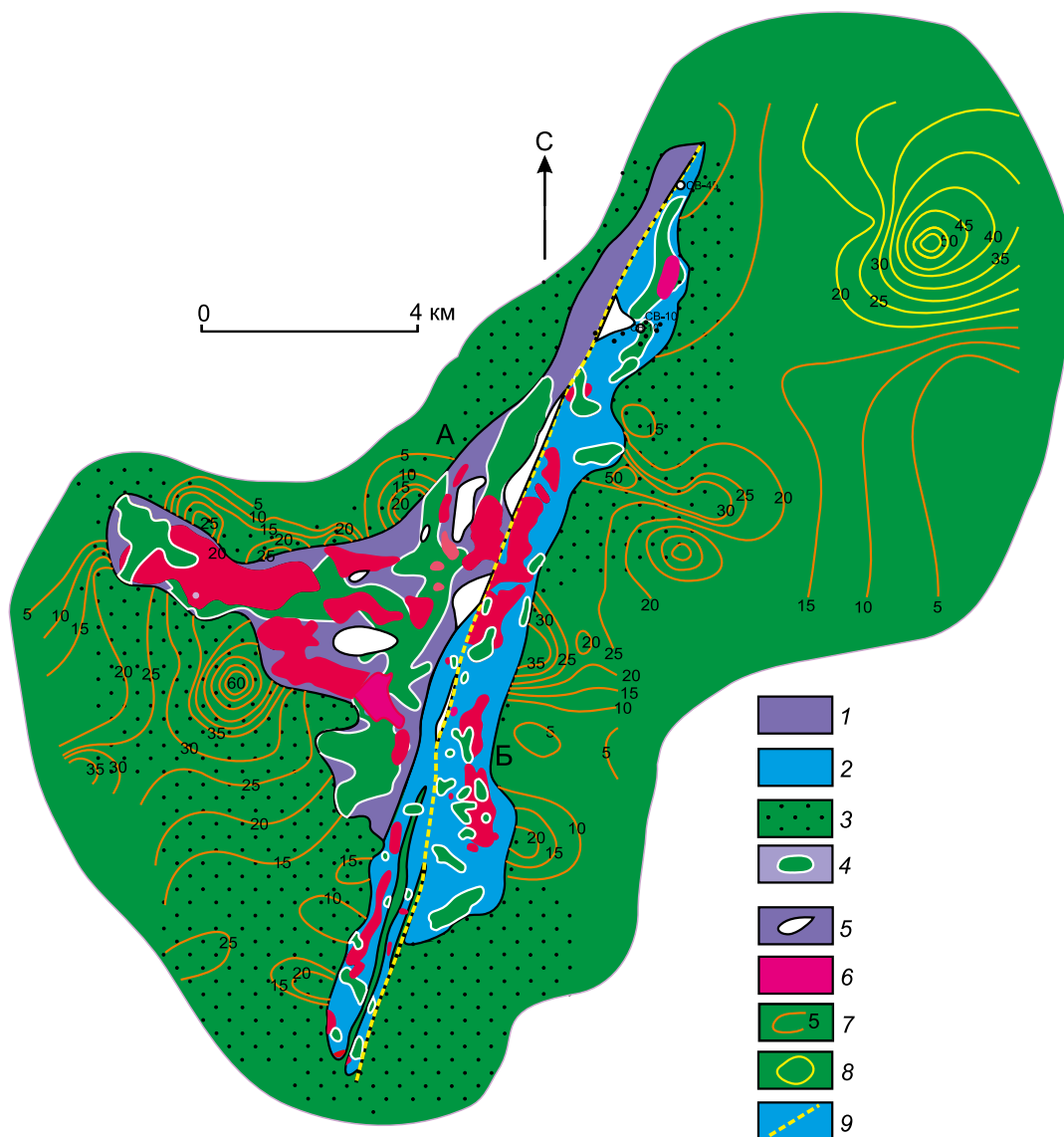


Рис. 5. Талнахская площадь:

интрузии, план: А – Хараелахская, Б – Талнахская; рудоносные части интрузий: 1 – Хараелахской, 2 – Талнахской; 3 – периферические части интрузий (силла лейкократового габбро, «внешнее» габбро в приблизительных границах); 4 – «внутреннее» габбро; 5 – участки без интрузивных тел; 6 – массивные залежи сульфидных руд; 7 – изопахиты силла лейкократового габбро Хараелахской и Талнахской интрузий, м [11]; 8 – изопахиты силла лейкократового габбро Олорской интрузии, м [11]; 9 – Норильско-Хараелахский разлом

эндоконтактной части интрузива. Нередко в их нижней части встречается меланократовая составляющая, представленная пикритовым габбро-долеритом, содержащим вкрапленную Pt-Cu-Ni минерализацию. Существуют пересечения скважин, где разрез интрузива состоит только из лейкократового габбро и пикритового габбро-долерита [3].

Перечисленные особенности лейкократового габбро Имангдинской интрузии указывают на то,

что оно, как и в других рудоносных интрузивах района, составляло головную часть магматической колонны, на которую полностью наложилась её последующая (тыловая) часть. Поэтому в ней нет ответвляющихся силлов лейкократового габбро, дифференцированных на лейкократовую и меланократовую части. Имеются лишь их фрагменты.

Сравнительно небольшому объёму лейкократового габбро в Имангдинской интрузии соответствует

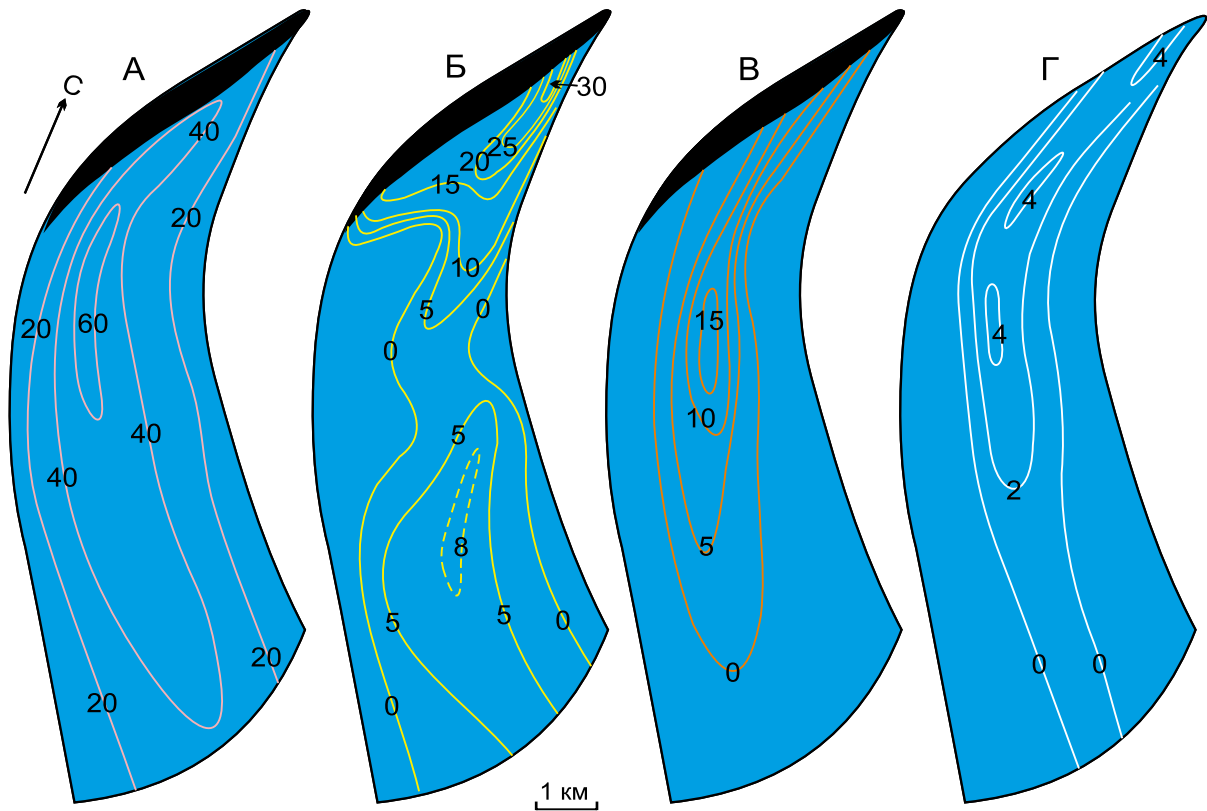


Рис. 6. Имангдинская интрузия, по работе [13]:

изопахиты, м: А – интрузии, Б – лейкократового габбро, В – пикритового габбро-долерита, Г – вкрапленных руд, м; чёрный участок – эрозионный срез интрузива

относительно малое количество в ней рудного вещества, проявленного только в виде вкрапленной минерализации (см. рис. 6, Г) с содержанием (в мас.%): Cu до 0,9 и Ni до 0,6; ЭПГ (в г/т): Pt 0,4–2 и Pd 1,6–4,6 [13].

Таким образом, в Норильском районе имеются (остаются) две перспективные площади, в пределах которых могут находиться существенные залежи платино-медно-никелевых руд: Черногорская в Норильском рудном поле (см. рис. 2) и Олорская в Талнахском (см. рис. 5).

Черногорская площадь включает опущенный участок (грабен) Н-Х разлома, в котором сходятся корневые (глубинные) части рудоносных интрузий горы Чёрная и Норильск II [7], а также территорию распространения силла лейкократового габбро, расположенную южнее интрузии горы Чёрная.

Олорская площадь находится в северо-восточной части Талнахского рудного поля. Здесь, как и в норильском грабене, перспективные тела могут размещаться в основном на больших глуби-

нах (до 2 км и более), что тоже осложняет обстановку выявления и использования новых рудных залежей.

Выводы состоят в следующем.

1. Современная опосредованность Норильского района соответствует его обследованию геологоразведочными работами, ориентированными на прямое (непосредственное) обнаружение рудных залежей. При этом могут оставаться «незамеченными» перспективные площади и интрузивные тела, для выявления которых требуется привлечение дополнительных («побочных») признаков перспективности, выраженных в виде специфических особенностей и закономерностей в строении, морфологии и составе рудоносных массивов.

2. Основополагающим «побочным» признаком и показателем возможного наличия и перспективности обнаружения Pt-Cu-Ni месторождений являются массовые скопления интрателлурического плагиоклаза анортит-битовнитового состава. Они представлены крупнозернистым лейкократовым габбро, проявленным в виде

периферических силлов («внешнее» габбро) и обособленных тел («внутреннее» габбро) в дифференцированных интрузиях габбро-долеритов.

3. Все выявленные в Норильском районе рудоносные интрузии и связанные с ними Pt-Cu-Ni месторождения (см. рисунки 2 и 5) содержат массовые скопления лейкократового габбро, как и большая часть известных проявлений лейкократового габбро связана именно с рудоносными интрузиями. Имеются некоторые «самостоятельные» участки и площади проявления лейкократового габбро, в которых могут быть рудные составляющие магматических комплексов. Именно они являются первоочередными в поисковом обследовании.

4. В пределах Норильской площади (см. рис. 2) к перспективным относятся участок «обрыва» Черногорской интрузии в грабене Н-Х разлома [7] и расположенная южнее этой интрузии территория распространения силла лейкократового габбро. На площади Талнахского рудного поля перспективным является продолжение Олорской интрузии.

5. Остальные сульфидоносные участки Норильского района, содержащие интрузии с вкрапленной минерализацией, – северное обрамление Талнахской мульды (см. рис. 1) и западная окраина Тунгусской синеклизы (Имангдинская и др.) – не содержат больших скоплений лейкократового габбро и потому не являются перспективными на обнаружение богатых залежей Pt-Cu-Ni руд. Некоторым исключением из этого является Имангдинская интрузия, содержащая в своём разрезе существенное количество лейкократового габбро. Однако оно представлено только «внутренней» разновидностью, которой оказалось недостаточно для образования массивных залежей руд.

6. В целом в Норильском районе сложилась сложная ситуация по выявлению новых платино-медно-никелевых месторождений: перспективных площадей мало при больших глубинах нахождения в них возможных рудных тел.

7. Нет оснований для допущения возможности обнаружения промышленных залежей Pt-Cu-Ni руд и на прилегающих к Норильскому району площадях.

8. Дальнейшая целесообразность геологоразведочных работ в Норильском районе сводится к обследованию глубоких горизонтов на территориях массового проявления лейкократового габбро с разработкой и применением новых геофи-

зических методов, позволяющих выявлять вытянутые в одном направлении магматические тела.

9. Представляется важным детальное исследование массовых проявлений лейкократового габбро в районе среднего течения р. Нижней Тунгуски.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Гриненко Л.Н.* Изотопный состав серы сульфидов некоторых медно-никелевых месторождений и рудопроявлений Сибирской платформы // *Петрология траппов Сибирской платформы.* – Л.: Недра, 1967. – С. 221–229.
2. *Гриненко Л.Н.* Источники серы никеленосных и безрудных интрузий габбро-долеритов на северо-западе Сибирской платформы // *Геология рудных месторождений.* – 1985. – № 1. – С. 3–15.
3. *Дюжиков О.А., Дистлер В.В., Струнин Б.М.* и др. Геология и рудоносность Норильского района. – М.: Наука, 1988. – 279 с.
4. *Лихачев А.П.* Роль лейкократового габбро в формировании норильских дифференцированных интрузий // *Изв. АН СССР. Сер. геол.* – 1965. – № 10. – С. 75–89.
5. *Лихачев А.П.* Платино-медно-никелевые и платиновые месторождения. – М.: Изд-во Эслан, 2006. – 496 с.
6. *Лихачев А.П.* К вопросам образования, поведения и фракционирования химических элементов, их изотопов и минералов в природных процессах // *Отечественная геология.* – 2017. – № 6. – С. 80–93.
7. *Лихачев А.П.* Возможность самообогащения рудным веществом и тяжелым изотопом серы (^{34}S) мантийных магм, формирующих платино-медно-никелевые месторождения и перспективное место для локализации руд в Норильском районе // *Отечественная геология.* – 2019. – № 3. – С. 32–49.
8. *Лихачев А.П.* Специфические особенности норильских рудоносных интрузий, их природа и определяющее значение в открытии Pt-Cu-Ni месторождений // *Отечественная геология.* – 2019. – № 5. – С. 36–52.
9. *Надретт А.Дж.* Магматические сульфидные месторождения медно-никелевых и платинометаллических руд. – СПб.: СПбГУ, 2003. – 487 с.
10. *Служеникин С.Ф.* Малосульфидное платиновое оруденение в дифференцированных базит-гипербазитовых интрузивах Норильского района: автореф. дисс. ... канд. геол.-минер. наук. – М.: ИГЕМ РАН. – 26 с.
11. *Служеникин С.Ф., Малич К.Н., Григорьева А.В.* Базит-гипербазитовые дифференцированные интрузии круглогорского типа: петрология и рудоносность (Норильский район) // *Петрология.* – 2018. – Т. 26, № 3. – С. 282–316.
12. *Соболев В.С.* Петрология траппов Сибирской платформы // *Труды Всесоюзного Арктического института.* Т. XLIII. Геология. – Л.: Изд-во Главного управления Севморпути, 1936.
13. *Туровцев Д.М.* Контактный метаморфизм норильских интрузий. – М.: Научный мир, 2002. – 318 с.
14. *Likhachev A.P.* Ore-bearing intrusions of the Noril'sk region // *Proceedings of the Sudbery-Noril'sk symposium.* Ontario. – 1994. Special vol. 5. – P. 185–201.

REFERENCES

1. *Grinenko L.N.* Izotopnyi sostav sery sul'fidov nekotorykh medno-nikelevykh mestorozhdenii i rudoprovyazhenii Sibirskoi platform [Isotopic composition of sulfur sulfides of some copper-Nickel deposits and ore occurrences of the Siberian platform]. *Petrologiya trappov Sibirskoi platformy*. Leningrad, Nedra Publ. 1967. P. 221–229.
2. *Grinenko L.N.* Istochniki sery nikelenosnykh i bezrudnykh intruzii gabbro-doleritov na severo-zapade Sibirskoi platformy [Sources of sulfur of Nickel-bearing and ore-free intrusions of gabbro-dolerites in the North-West of the Siberian platform]. *Geologiya rudnykh mestorozhdenii*. 1985. No. 1. P. 3–15.
3. *Dyuzhikov O.A., Distler V.V., Strunin B.M. et.al.* Geologiya i rudonosnost' Noril'skogo raiona [Geology and ore content of the Norilsk region]. Moscow, Nauka Publ. 1988. 279 p.
4. *Likhachev A.P.* Rol' leikokratovogo gabbro v formirovaniy noril'skikh differentsirovannykh intruzii [The role of leucocratic gabbro in the formation of Norilsk differentiated intrusions]. *Izv. AN SSSR. Ser. geol.* 1965. No. 10. P. 75–89.
5. *Likhachev A.P.* Platino-medno-nikelevye i platinovyе mestorozhdeniya [Platinum-copper-Nickel and platinum deposits]. Moscow, Eslan Publ. 2006. 496 p.
6. *Likhachev A.P.* K voprosam obrazovaniya, povedeniya i fraktsionirovaniya khimicheskikh elementov, ikh izotopov i mineralov v prirodnykh protsessakh [On the formation, behavior, and fractionation of chemical elements, their isotopes, and minerals in natural processes]. *Otechestvennaya geologiya*. 2017. No. 6. P. 80–93.
7. *Likhachev A.P.* Vozmozhnost' samoobogashcheniya rudnym veshchestvom i tyazhelym izotopom sery (^{34}S) mantiinykh magm, formiruyushchikh platino-medno-nikelevye mestorozhdeniya i perspektivnoe mesto dlya lokalizatsii rud v Noril'skom raione [The possibility of self-enrichment with ore matter and a heavy sulfur isotope (^{34}S) of mantle magmas forming platinum-copper-Nickel deposits and a promising location for ore localization in the Norilsk district]. *Otechestvennaya geologiya*. 2019. No. 3. P. 32–49.
8. *Likhachev A.P.* Spetsificheskie osobennosti noril'skikh rudonosnykh intruzii, ikh priroda i opredelyayushchee znachenie v otkrytii Pt-Cu-Ni mestorozhdenii [Specific features of Norilsk ore-bearing intrusions, their nature and determining significance in the discovery of Pt-Cu-Ni deposits]. *Otechestvennaya geologiya*. 2019. No. 5. P. 36–52.
9. *Naldrett A.Dzh.* Magmaticheskie sul'fidnye mestorozhdeniya medno-nikelevykh i platinometal'nykh rud [Magmatic sulfide deposits of copper-nickel and platinum-metal ores]. Saint-Petersburg, SPbGU Publ. 2003. 487 p.
10. *Sluzhenikin S.F.* Malosul'fidnoe platinovoe orudenie v differentsirovannykh bazit-giperbazitovykh intruzivakh Noril'skogo raiona: Avtoref. diss. kand. geol.-miner. Nauk [Low-sulfide platinum mineralization in differentiated basic-ultrabasic intrusions of the Noril'sk district: author. Diss. Cand. geol.-miner. sciences]. Moscow, IGEM RAN Publ. 26 p.
11. *Sluzhenikin S.F., Malich K.N., Grigor'eva A.V.* Bazit-giperbazitovye differentsirovannye intruzii kruglogorskogo tipa: petrologiya i rudonosnost' (Noril'skii raion) [Basic-ultrabasic intrusions of differentiated kruglikovskogo type: Petrology and ore potential (Norilsk district)]. *Petrologiya*. 2018. Vol. 26, No. 3. P. 282–316.
12. *Sobolev V.S.* Petrologiya trappov Sibirskoi platform [Petrology of traps of the Siberian platform]. Tr. Vsesoyuznogo Arkticheskogo instituta. Vol. XLIII. Geologiya. Leningrad, Izd-vo Glavnogo upravleniya Sevmorputi Publ. 1936.
13. *Turovtsev D.M.* Kontaktovyi metamorfizm noril'skikh intruzii [Contact metamorphism of the Noril'sk intrusions]. Moscow, Nauchnyi mir Publ. 2002. 318 p.
14. *Likhachev A.P.* Ore-bearing intrusions of the Noril'sk region. Proceedings of the Sudbery-Noril'sk symposium. Ontario. 1994. Special vol. 5. P. 185–201.

Геолого-генетическая модель формирования Ветренского золоторудного месторождения (Магаданская область)

Н.В.БОНДАРЕНКО¹, В.А.УТЕНКОВ², Н.В.ПАЧЕРСКИЙ¹, Н.Д.РАКОВ²

¹(Федеральное государственное бюджетное учреждение «Центральный научно-исследовательский геологоразведочный институт цветных и благородных металлов» (ФГБУ «ЦНИГРИ»); 117545, г. Москва, Варшавское шоссе, д. 129, корп. 1),

²(Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе» (МГРИ–РГГРУ); 117997, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, 23)

Ветренское золоторудное месторождение расположено в пределах Центрально-Колымского золотоносного региона (ЦКР) и является эталонным объектом для одноимённой площади в пределах листов Р-55-XXIV и Р-55-XIX. Детальные наблюдения в карьере, штольнях и в керне месторождения позволили наметить этапность и стадийность минералообразования, взаимосвязь рудогенеза с метасоматически изменёнными породами. Составлена геолого-генетическая модель месторождения, предполагающая, что золотое оруденение сформировалось за счёт разгрузки флюида магматического происхождения в тектонически подготовленной углисто-глинистой матрице.

Ключевые слова: Центрально-Колымский, золото, месторождение, месторождение Ветренское, березиты, аргиллизиты, углистое вещество, пирит, арсенопирит, флюид.

Бондаренко Николай Викторович
кандидат геолого-минералогических наук

nicolasbond@yandex.ru

Утенков Владимир Александрович
кандидат геолого-минералогических наук



vutenk@yandex.ru

Пачерский Николай Викторович

1971nvp@mail.ru

Раков Николай Дмитриевич

racmanv@mail.ru

Geological-genetic model of Vetrenskoye gold deposit formation (Magadan region)

N.V.BONDARENKO¹, V.A.UTENKOV², N.V.PACHERSKY¹, N.D.RAKOV²

¹(Central Research Institute of Geological Prospecting for Base and Precious Metals),

²(Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Russian state University for Geological Prospecting named after Sergo Ordzhonikidze»)

Vetrenskoye gold deposit is located within the Central Kolyma gold-bearing region and is a reference object for the area of the same name within P-55-XXIV and P-55-XIX. Detailed observations in the quarry, adits and in the core of the deposit made it possible to outline the staging of mineral formation, the relationship of ore genesis with altered rocks. A geological model of the deposit was compiled suggesting that gold mineralization was formed due to the discharge of a fluid of magmatic origin in a tectonically prepared carbonaceous-clay matrix.

Key words: Central Kolyma, gold, deposit, Vetrenskoye deposit, beresites, mudstones, carbonaceous matter, pyrite, arsenopyrite, fluid.

Вопросам геологии, минералогии и генезиса золоторудных месторождений Яно-Колымского пояса посвящён обширный список литературы [1, 3, 6 и др.]. В пределах ЦКР выявленные объекты принадлежат к двум основным рудным формациям: золото-кварцевой и золото-редкометалльной (золото-порфировой, золото-полисульфидно-кварцевой, по разным авторам). Существенно преобладают объекты золото-кварцевой формации. Объекты золото-редкометалльной формации относятся к нетрадиционному для провинции типу, обладающему значительными перспективами [6].

Объекты золото-кварцевой формации по структурно-морфологическим признакам разделяются на линейные штокверки в терригенных породах и жилы. Характерная особенность объектов жильного типа – повышенные содержания золота при сравнительно небольших запасах (до первых десятков тонн). К эталонным жильным месторождениям относятся Юглер, Бадран, Токичан и другие. Наиболее изученным представителем штокверковых золото-кварцевых объектов служит месторождение Наталкинское, которое является примером выявления в ЦКР крупнообъёмных золоторудных месторождений путём переоценки ранее известных жильных объектов [6].

Для объектов золото-редкометалльной формации (Дубач, Паук, Тэутеджак и др.) характерными признаками являются отчётливая парагенетическая связь с гранитоидными интрузиями и присутствие в рудах минералов висмута и теллура.

В настоящее время геохронологическими методами для золото-кварцевого оруденения также установлена связь с гранитоидным магматизмом [12]. Актуальным является вопрос о характере этой связи. Авторы попытались решить его на примере Ветренского золото-кварцевого месторождения, локализованного в непосредственной близости от гранитных массивов. Изложенная ниже модель основана на результатах наблюдения взаимоотношений разновозрастной минерализации в карьере, штольнях и в керне скважин, минералогических и петрографических исследований интрузивных пород, метасоматитов и руд Ветренского месторождения.

Ветренский золоторудный узел (РУ) расположен в юго-восточной части Верхояно-Колымской минерагенетической провинции в пределах Центрального Колымского золотоносного региона. В тектоническом плане РУ охватывает отрезок зоны Чай-Юрьинского регионального долгоживущего разлома, который отделяет структуры

Иньяли-Дебинского мегасинклинория от Аян-Юрьинского антиклинория, расположенного юго-западнее. Площадь узла сложена углеродистыми аргиллит-алевролитовыми породами триаса и аргиллит-песчаниковыми отложениями нижней юры, метаморфизованными в низах зеленосланцевой фации регионального метаморфизма, смятыми в линейные складки и нарушенными серией продольных и кососекущих разломов, которые составляют зону Чай-Юрьинского разлома. Генеральное простирание складчатых и разрывных структур северо-западное. Осадочные толщи в ближайшем обрамлении РУ прорваны крупными гранитоидными интрузивными массивами (Анначаг, Право-Обинский, Корабль), которые являются составляющими Главного Колымского батолитового пояса на его южном фланге [5].

В Ветренском рудном узле промышленным объектом является среднее по запасам Ветренское золоторудное месторождение, расположенное на водоразделе Колымского водохранилища и его правого притока р. Обо в пределах одноимённого рудного поля (РП). В структурном плане месторождение приурочено к ядру линейной Лево-Обинской приразломной грабен-синклинали, сложенной (сверху вниз): толщей переслаивающихся глинистых, углеродисто-глинистых, алевро- и алевроито-глинистых сланцев и подчинённых вулканомиктовых песчаников с прослоями седиментационных брекчий – флишем нижней юры (геттангский ярус, мощность 630 м); аргиллитами, алевролитами и песчаниками верхнего триаса (не менее 1550 м). На глубоких горизонтах их подстилают близкие по составу отложения среднего, нижнего триаса и верхней перми. Грабен-синклиналь шириной 5–6 км, ограничена дизъюнктивными, составляющими систему Чай-Юрьинской зоны разломов: на юго-западе – Главный ствол Чай-Юрьинской зоны, на северо-востоке – Краевой разлом. Между ними располагаются Пограничный, Роскошненский и Восточный продольные разломы (рис. 1). Они падают на юго-запад под углами от 80° до 60°. Осложняющие складки II и III порядков своими осями косо ориентированы к продольным разломам. Складки более высоких порядков развиты в непосредственной близости от разрывных нарушений и представляют собой складки волочения и пластического течения, среди них преобладают острые, асимметричные, опрокинутые.

К северо-востоку от Пограничного разлома протягивается Центральная зона смятия, в пределах

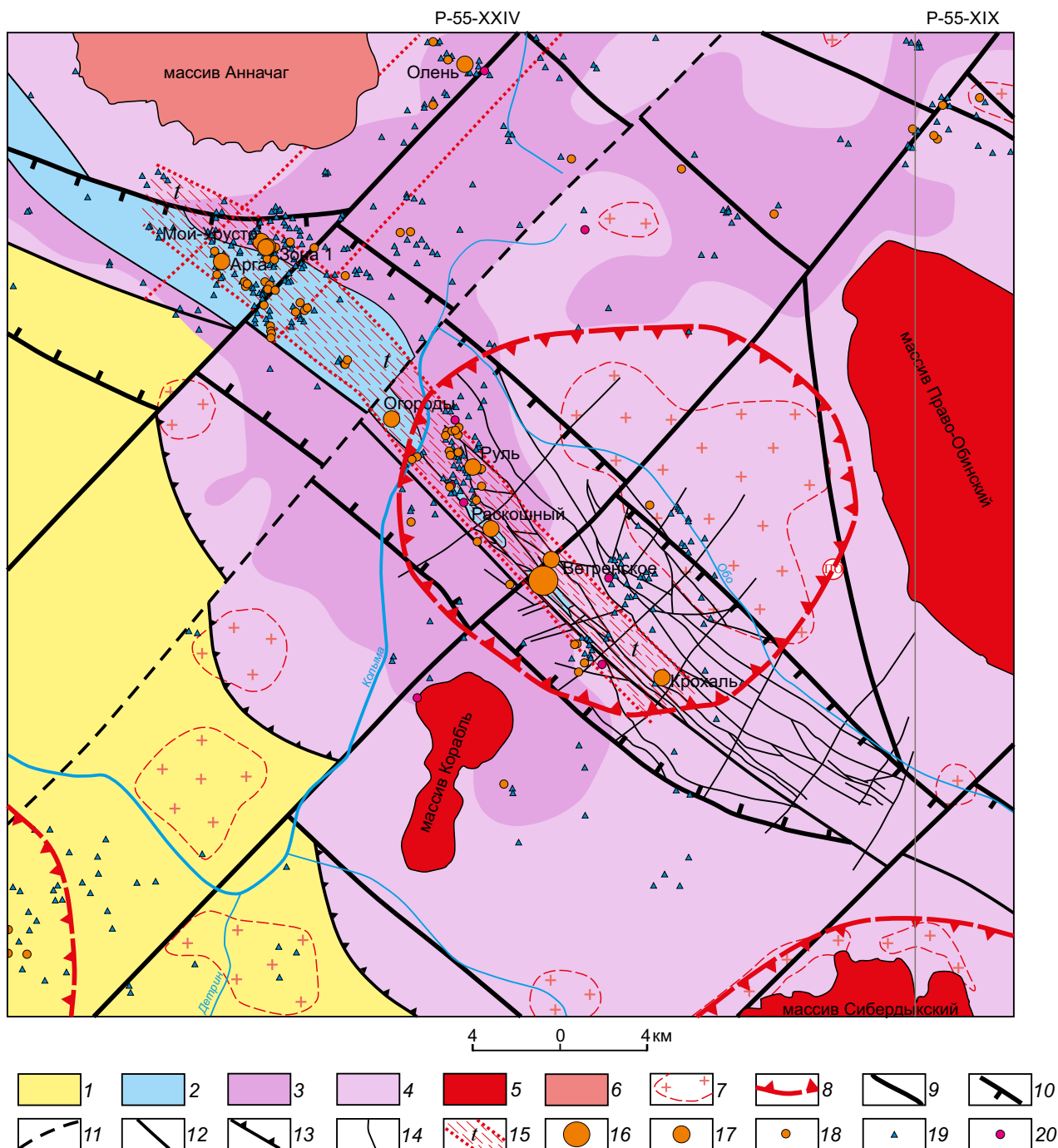


Рис. 1. Геолого-геофизическая схема Ветренского рудного узла:

тектоническое районирование: Аян-Юряхский антиклинорий: 1 – пермский подъярус (терригенные отложения), Бохалчинская ветвь Иняли-Дебинского синклиория: 2 – юрский подъярус (терригенные с повышенной глинистостью и обогащённые органическим веществом отложения), 3–4 – триасовый подъярус: 3 – терригенные отложения повышенной мощности (< –50 мГал), 4 – терригенные отложения пониженной мощности (> –50 мГал); *массивы гранитоидов:* 5 – немагнитные, 6 – слабомангнитные, 7 – предполагаемые нескрытые интрузии гранитоидов, 8 – Право-Обинская рудно-магматическая система; *тектонические нарушения:* 9 – глубинный Чай-Юрьинский разлом (осевая зона), 10 – зона Чай-Юрьинского разлома, 11 – региональные скрытые разломы, 12 – разломы второго порядка, 13 – взросы, надвиги, 14 – разрывные нарушения, составляющие зону Чай-Юрьинского разлома, 15 – зона складчато-разрывных дислокаций (разрывные нарушения разного прядка, милониты, зоны смятия, приразломные складки, кливаж разлома); *месторождения и проявления полезных ископаемых:* 16 – Ветренское золоторудное месторождение (среднее по запасам), 17 – золоторудные проявления, 18 – пункты минерализации золота (>1 г/т), 19 – свалы слабозолотоносного жильного кварца (0,01–1,0 г/т), 20 – пункты минерализации вольфрама

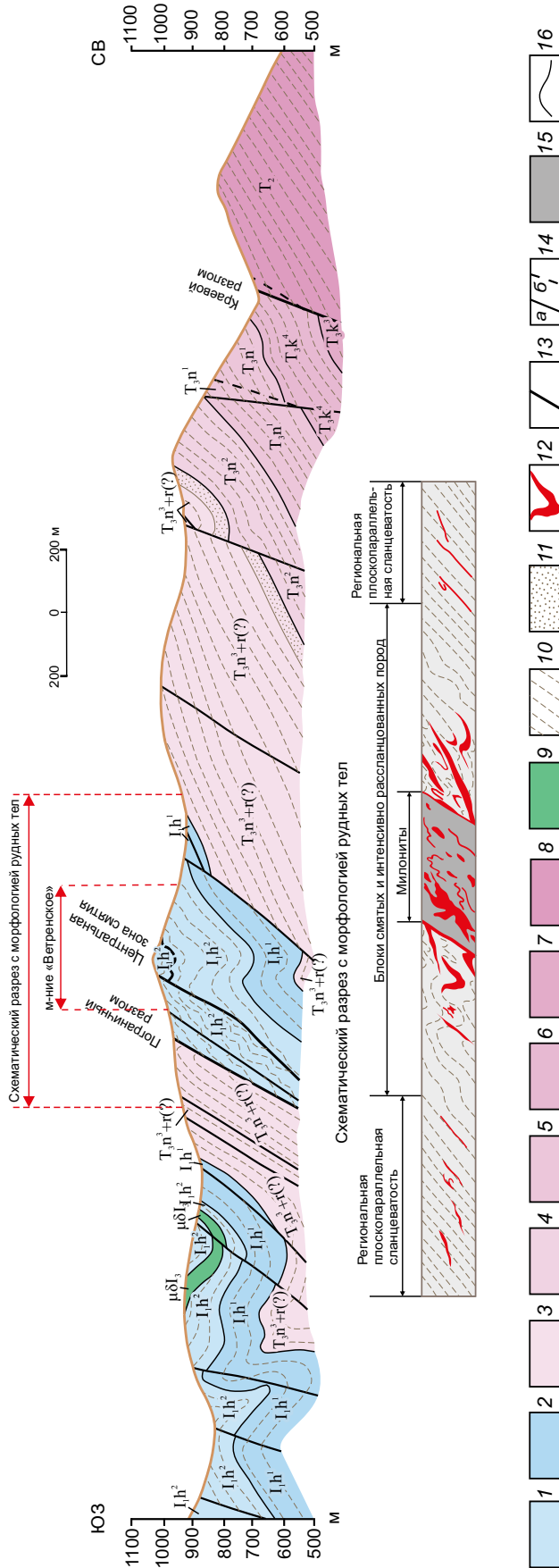


Рис. 2. Геологический разрез и морфология рудных жил месторождения Ветренское. По материалам А.И.Калинина, И.А.Панычева, ЦКТЭ, 1971, СВГУ, г. Магадан:

юрская система, нижний отдел, геттангский ярус: 1 – верхняя толща, J_1h^1 (глинистые и углисто-глинистые сланцы), 2 – нижняя толща, J_1h^2 (вулканомиктовые песчаники, глинистые алевролиты и алевроито-глинистые сланцы); триасовая система: верхний отдел: 3–5 – нордский и редский ярусы, толщи: 3 – третья, $T_3n^{3+т(?)}$ (глинистые и алевроито-глинистые сланцы), 4 – вторая, T_3n^2 (алевроито-глинистые сланцы) и 5 – первая, T_3n^1 (алевроито-глинистые сланцы и алевролиты с текстурой взмучивания), 6–7 – карнийский ярус, толщи: 6 – четвертая, T_3k^4 (алевроито-глинистые сланцы), мелкосернистые алевролиты и песчаники), 7 – третья, T_3k^3 (алевроито-глинистые сланцы и глинистые сланцы, косослоистые алевролиты, вулканомиктовые песчаники), средний отдел, T_2 : 8 – косослоистые алевролиты и песчаники; интрузии: 9 – дайки и иллы монцодиоритовых порфиров, $\mu\delta I_3$; 10–11 – литология: 10 – толща переслаивания глинистых, углисто-глинистых и алевроито-глинистых сланцев, 11 – песчаники и алевро-песчаники; гидротермалиты: 12 – жилы, тела сложной морфологии и прожилки кварцевого состава; 13–14 – тектонические нарушения: 13 – крупные рудокоп-тролирующие сбросо-сдвиги, 14 – разрывные нарушения, составляющие зону Чай-Юрьинского разлома: а – установленные, б – предполагаемые; 15 – графитизированные милониты с кварцевыми прожилками, жилами, желваками, линзами и телами сложной формы; 16 – геологические границы

которой сконцентрированы рудные тела месторождения [4]. Зона прослежена на 2,5 км при ширине 200–400 м. Сложное строение зоны обусловлено развитием серии продольных субпараллельных кулисообразно расположенных разрывных нарушений, сопровождающихся блоками интенсивно трещиноватых, рассланцованных и смятых в мелкие складки пород. Простираание разрывных нарушений колеблется в северо-западных румбах от 290° до 340° с преобладанием 290°–310°, падение юго-западное. Углы падения меняются от 60°–85° на верхних уровнях до 50° на средних и до 45°–50° на нижних. Не исключено, что на глубине Центральная зона смятия причленяется к Пограничному разлому (рис. 2).

На отдельных участках зоны отмечены локальные изменения простираания и падения тектонических нарушений, обусловленные «обтеканием» блоков жёстких (существенно алевритовых) пород и отклонением в сторону более пластичных. Разрывные нарушения представляют собой зоны интенсивно смятых, милонитизированных, перетёртых до глины пород. По простираанию и падению мощность их невыдержанная, варьирует в широких пределах – от долей метра до 40 м. Максимальная мощность дизъюнктивных нарушений отмечена на участках, где их ориентировка совпадает с элементами залегания сланцев. Сокращение мощности наблюдается при секущем положении разрывов относительно ориентировки залегания сланцев. Протяжённость отдельных кулис не превышает 300 м. В местах выклинивания они расщепляются на отдельные мелкие швы. Контакты нарушений с вмещающими породами обычно чёткие, но в отдельных случаях затушёвываются рассланцеванием боковых пород. [5]

Основу рудных тел составляют кварцево-жильные образования. В пределах Центральной зоны смятия характерна их приуроченность к пластам углеродисто-глинистых и глинистых сланцев как наиболее подверженным пластичному смятию в различные по размеру и характеру складки с образованием полостей отслоения. Причём рудные пересечения отмечены наиболее высокими содержаниями углеродистого вещества.

Кварцево-жильные образования подразделяются на две группы: 1) залегающие непосредственно в зонах тектонических нарушений и 2) залегающие вне тектонических нарушений – в рассланцованных и смятых в складки породах лежащего и висячего боков.

Первая группа представлена линзами, жилами, желваками и телами неправильной формы. Размеры наиболее крупных линзовидных и жиллообразных тел достигают 60–70 м по простираанию, 60–70 м по падению, 10–12 м по мощности.

Вторую группу кварцево-жильных тел образуют: седловидные жилы и жилы, приуроченные к флексуобразным перегибам вмещающих пород, мощность жил в раздувах достигает 10–15 м; чётковидные, камерные, ветвящиеся жилы, выполняющие полости отслоения в рассланцованных алеврито-глинистых сланцах; их максимальные параметры 15–20 м по простираанию, 5–6 м по мощности; жилы, выполняющие трещины отрыва вдоль контактов тектонических зон, протяжённость до 2 м, мощность редко достигает 1 м; прожилки, приуроченные к трещинам отрыва в сводовых частях складок.

Жильные образования сложены трещиноватым крупнокристаллическим кварцем и содержат ксенолиты вмещающих пород (до 30%). В зависимости от наличия или отсутствия ксенолитов и их характера различаются текстуры: массивная, полосчато-пластинчатая и брекчиевидная.

Рудные тела месторождения представлены сериями сближенных ветвящихся жил, прожилков, линз и кварцевых тел сложной формы с вмещающими их сланцами, локализованными в верхней сохранившейся части разреза геттангского яруса. Характерными особенностями толщи нижнеюрских отложений являются: повышенная глинистость, повышенная углеродистость (среднее содержание $C_{орг} = 2,26\%$ против 0,94% в породах рудного поля в целом) и повышенная титанистость. Промышленные контуры рудных тел определяются по данным бороздового опробования. В целом месторождение вскрыто эрозией слабо, некоторые рудные тела являются слепыми [5].

Изучение гранитов Сибердыкского и Право-Обинского массивов, расположенных в непосредственной близости от месторождения, показало, что их центральные части сложены крупнозернистыми биотитовыми гранитами с высоким содержанием кварца и характерной последовательной (фракционной) кристаллизацией бесцветных минералов (после магнетита, апатита, циркона и биотита). Общий тренд которой $An_{30-40} + Qtz \rightarrow Fsp$. Отличительными чертами являются интенсивная (докалишпатовая) деанортитизация плагиоклаза $An_{40} \rightarrow An_{30}$, а также отсутствие монцонитовых структур (рис. 3, А). Обе особенности отражают низкое давление воды (<150 МПа) и химический

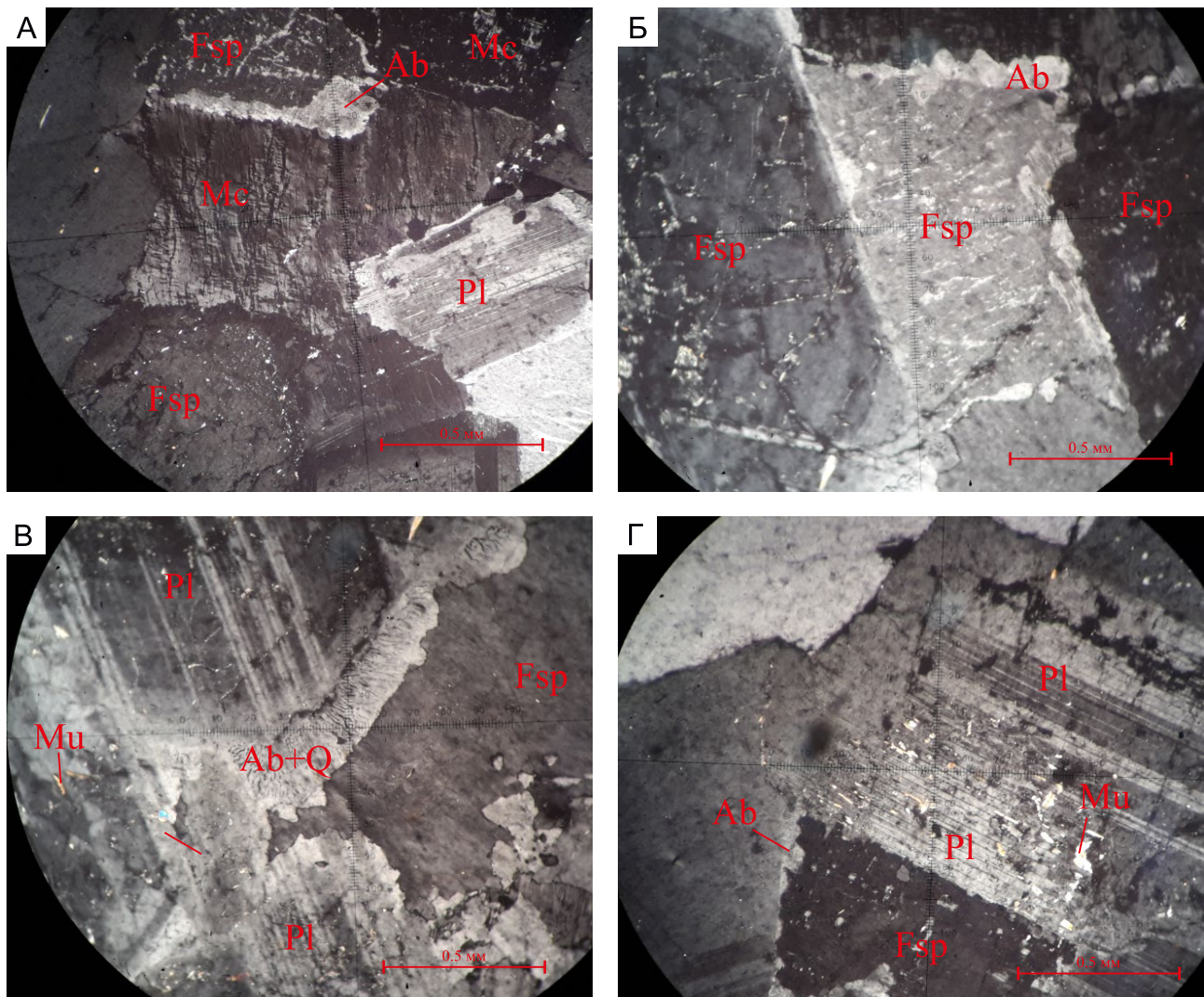
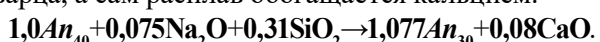


Рис. 3. Граниты Сибердыкского массива. Фото шлифов, николи скрещены:

А – деанортитизация плагиоклаза, псевдопертиты в КПШ (Fsp) с образованием вокруг него альбитовой (Ab) каймы и развитием микроклиновой деформированной решетки (Mc); Б – альбитизация псевдопертитов в КПШ (Fsp) и образование узкой альбитовой (Ab) каймы; В – развитие на границе деанортитизированного плагиоклаза (Pl) и КПШ (Fsp) поздних мirmekитов альбит-кварцевого (Ab+Q) состава, в центральной части плагиоклаза (Pl) мелкого мусковита (Mu); Г – развитие в центральной части плагиоклаза (Pl) мелкого мусковита (Mu) и образование альбитовой (Ab) каймы вокруг КПШ (Fsp)

способ её растворения в расплаве [7]. При деанортитизации плагиоклаза расходуется кремнезём расплава и поэтому прекращается образование кварца, а сам расплав обогащается кальцием:



Реакция идёт с расширением объёма плагиоклаза ($\Delta V = +7,6 \text{ см}^3/\text{моль}$), но из-за низкого содержания воды в расплаве нет деформации кварца, которая всегда наблюдается в высоководных гра-

нитах. Начальное равновесие $An_{40} + Qtz$ при условии $P_{H_2O} = 50 \text{ МПа}$ будет, по Йодеру, соответствовать $\sim 900^\circ \text{C}$, а при деанортитизации – $\sim 800^\circ \text{C}$

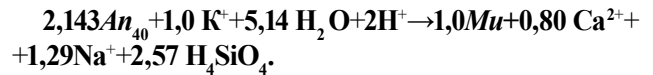
Описанный выше процесс является следствием химического способа растворения воды в расплаве (при её низком давлении), поскольку экспериментально [7] установлено, что при давлении воды $P_{H_2O} \leq 1500 \text{ бар}$ преобладает именно химический способ растворения воды в расплаве, тогда как при

более высоком давлении воды её растворение протекает молекулярным способом. Именно для высокого давления воды и её молекулярного способа растворения в расплаве характерно возникновение монцонитовых структур. Их отсутствие в изученных гранитах указывает на низкое давление воды.

Калиевый полевой шпат, заполняющий свободное пространство, не содержит поздних пертитов распада, но в нём есть псевдопертиты – извилистые реликты плагиоклаза, превращённые в альбит. При этом происходит их расширение. В результате усиливается давление на матрицу Fsp , что приводит к его уплотнению и развитию микроклиновой решётчатости. Альбитизации псевдопертитов сопутствует образование узкой альбитовой каймы вокруг Fsp (см. рис. 3, Б). Температура равновесия Fsp и альбита приходится на 700°C , а давление воды в остаточном плёночном расплаве возрастает до 500 МПа [8, 11]. Признаком увеличения содержания воды в остаточном расплаве является появление поздних мирмекитов (см. рис. 3, В).

Сравнение пород из разных частей массивов указывает на уменьшение кремнекислотности и увеличение водонасыщенности расплава от центра к их периферии, где характерно экранирующее влияние контактов, препятствующее дегазации, с закономерным повышением давления летучих компонентов. В итоге происходит накопление плёночного расплава с формированием отдельной поздней фазы гранитоидов, в основном порфировидного облика.

По мнению авторов, поздняя фаза гранитоидов относится к инверсионному периоду становления массивов, когда магматические процессы сменялись постмагматическими преобразованиями. Следует отметить, что в породах периферийного комплекса, как правило, из-за сильных вторичных изменений первичные минералы лишь частично сохраняют свою форму. Например, плагиоклаз и биотит имеют вид вкрапленников. Биотит почти полностью замещён хлоритом с выделением лейкоксена, а основная тонкозернистая масса замещена серицитом и карбонатом. Плагиоклаз образует широкие изометричные вкрапленники с прямолинейными краями, являющиеся псевдоморфозами альбита. В центре плагиоклазов, где частично сохраняется его повышенная основность (то есть большее содержание Al), наблюдается развитие мелкого мусковита (см. рис. 3, Г). Эта метасоматическая реакция имеет кислотную направленность:



Десиликация, как видно из реакции, протекает с сильным уменьшением объёма твёрдых фаз ($\Delta V = -64 \text{ см}^3/\text{моль}$), что отражается в «разрыхлении» структуры первичной породы.

Таким образом, проницаемая структура породы, гидролизный характер реакции и её кислотная направленность, а также обогащённость остаточного расплава Y, As, Bi, Sn, W, Mo способствуют интенсивной грейзенизации эндоконтактов плутонов, а при тектонической нарушенности экранирующих контактовых роговиков – распространению процессов грейзенизации в зоны экзоконтактов. Следует отметить, что тектонические разрывы, пересекающие краевые части массивов и сопряжённую с ними зону контактовых роговиков, значительно влияют на состояние системы, поскольку вызванная их заложением декомпрессия характеризуется процессом адиабатического расширения, которое сопровождается быстрым охлаждением флюидной фазы, заполняющей межзерновое (поровое) пространство (см. рис. 3, В, Г). Наличие в приконтактных частях плутонов грейзенов шеелит-молибденитового типа в ассоциации с мелкими выделениями мусковита хорошо согласуется с инверсионным характером заключительного этапа становления массивов.

Поведение флюидной массы за контурами контактов кислых плутонов определяется прежде всего взаимодействием со вмещающими породами на фоне достаточно быстрого падения температуры. Как видно из приведённых выше реакций, происходит вынос натрия и кальция, а водный флюид приобретает свойства гидротермальных растворов, которые, судя по минерализации, обогащены As, Bi, S, частично Au, Ag, W, Pb, Cu, Te. Анионная группа, судя по слюдистым минералам метасоматического процесса, представлена в основном Cl, который присутствует во всех слюдистых фазах.

Прохождение растворов через глинисто-углистые и глинистые сланцы приводит к их последовательной березитизации, перераспределению углеродистого вещества (УВ) и аргиллизации. Березитизация характеризуется минеральной ассоциацией кварца, серицита с карбонатами сидерит-анкеритового ряда (рис. 4, А–В), а по периферии отмечается хлорит (клинохлор). Во вмещающих углисто-глинистых отложениях с исходной примесью пирита под температурным воздействием развивается пирротин-пирит-халькопиритовая минерализация, что соответствует пресыщению

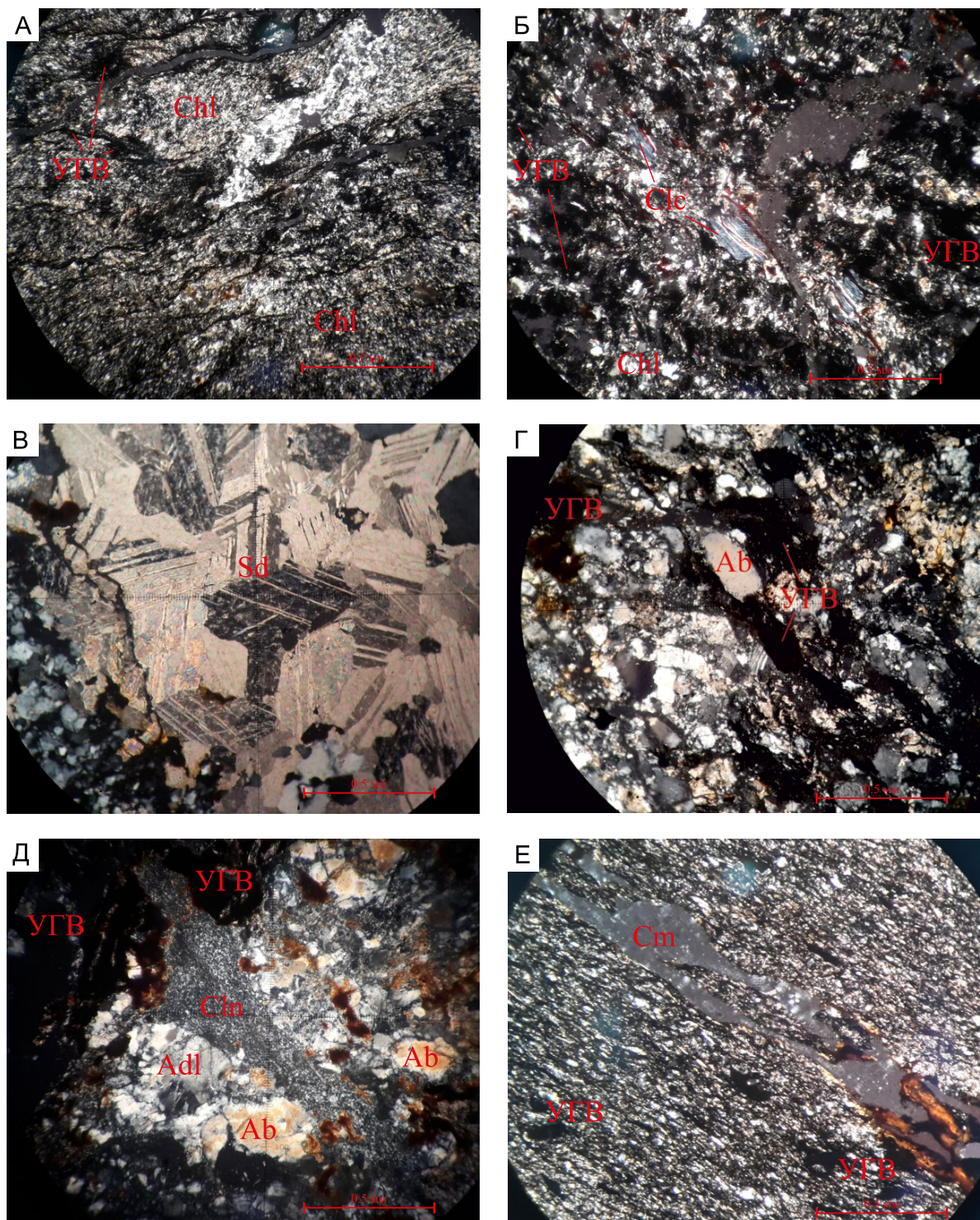


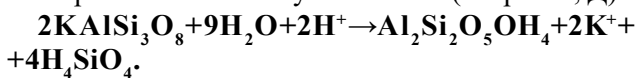
Рис. 4. Гидротермально-метасоматические образования месторождения Ветренское:

А – хлоритизированная (Chl) углисто-глинистая матрица с перераспределением углистого вещества (УГВ) (николи скрещены); Б – хлоритизированная (Chl) углисто-глинистая матрица с клинохлором (Clc) и с перераспределением УГВ (николи скрещены); В – скопление полисинтетических двойников сидерита (Sd) в песчанисто-глинистой матрице (николи скрещены); Г – поздний альбит (Ab) в изменённой глинистой матрице с перераспределением УГВ (николи скрещены); Д – поздний альбит (Ab), выделение адуляра (Adl) и развитие каолинита (Kln) по КПШ в изменённой углисто-глинистой матрице (николи скрещены); Е – развитие шамозита (Cm) и выгорание УГВ в изменённой углисто-глинистой матрице (николи скрещены)

растворов серой и представляет начальную колчеданную стадию рудогенеза.

Для Ветренского месторождения установлено наличие различных типов органического вещества от антраксолитов до разной степени кристалличности графита и их приуроченность к конкретным литолого-стратиграфическим таксонам. Отмечаются накопление УВ по плоскостям кливажа и в замках микроскладок и его выгорание по периферии центральной зоны. Такое поведение углеродистого вещества оказывает значительное влияние на березиты, поскольку его окисление (выгорание) приводит к образованию карбонат-иона и появлению карбонатных фаз. Диссоциация угольной кислоты $\text{H}_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{CO}_3^{2-} + 2\text{H}^+$ приводит к образованию сидерита-анкерита, смена типа диссоциации на $\text{H}_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{HCO}_3^- + \text{H}^+$ отвечает кристаллизации кальцита.

В ходе метасоматических изменений с понижением температуры перераспределяется рудное вещество: пирротин колчеданной стадии выщелачивается с замещением на пирит и арсенопирит. Следующая ступень минералообразования характеризуется новым сбросом внутренней энергии, дальнейшим снижением температуры с формированием прожилково-вкрапленной золото-кварц-арсенопиритовой (с рутилом и реликтами пирита) ассоциации и в завершение – кристаллизацией альбита. Появление таблиц альбита служит маркером пограничных парагенезисов между собственно березитами и аргиллизитами, представленными каолинитом, гидрослюдами, шамозитом, пиритом, карбонатами сидерит-анкерит-доломитового ряда (см. рис. 4, Г). Следует отметить, что в виде реликтов встречаются кварц и адуляр, часто с развитием по нему каолинита (см. рис. 4, Д):



Реакция является кислотным гидролизом и протекает с сильным уменьшением объёма твёрдых фаз ($\Delta V = -118,9 \text{ см}^3/\text{моль}$): «разрыхлением» структуры породы и существенным расширением трещин, которое в свою очередь приводит к адиабатическому охлаждению системы, которое, по мнению авторов, сопровождается разделением флюида на гидротермальную и пневматолитовую фазы. Можно предположить, что с гидротермальной фазой связано образование жильно-прожилковых зон на флангах Ветренского месторождения, в которых, помимо кварца, присутствует самородное золото и незначительное количество пирита. А выполнение трещин шамозитом

и цеолитами в центральной зоне месторождения (см. рис. 4, Е), согласно мнению авторов, является результатом пневматолитиза.

Таким образом, на примере Ветренского месторождения прослеживается ход развития процессов, непосредственно определяющий характер и тип оруденения: эволюция гранитоидного расплава с образованием поздней магматической фазы; формирование флюидной массы и грейзенизация приконтактных частей плутона; транзит флюида от массива во вмещающие породы по проницаемым зонам с формированием гидротермально-метасоматического ряда: березиты+перераспределение углеродистого вещества → аргиллизиты → гидротермалиты. В ходе гидротермально-метасоматических изменений фиксируются перераспределение, привнос и накопление рудного вещества, в том числе с формированием высокопродуктивных золоторудных тел.

Сульфидная минерализация в рудах представлена в основном арсенопиритом и пиритом, в значительно меньших количествах присутствуют пирротин, марказит, галенит, сфалерит, халькопирит. Сульфиды обычно локализованы в кварцево-жильном материале, но иногда отмечаются гнездовые скопления и единичные выделения во вмещающих сланцах. В целом, количество сульфидов составляет десятые доли процента, и по этому показателю руда относится к убогосульфидному типу [9]; кроме сульфидов, в рудах месторождения широко развит шеелит.

Исходя из минералого-геохимических исследований руд месторождения и материалов предшественников [5, 9] представляется, что формирование золотого оруденения месторождения Ветренское протекало в несколько стадий в ходе единого рудного этапа. Следует отметить, что собственно рудогенез накладывался на углисто-глинистую матрицу, подготовленную тектоническими процессами. Влияние разрывной тектоники описано выше, а пликативные нарушения выражены в заложении серий складок высоких порядков с образованием полостей отслоения, характеризующихся декомпрессионным режимом.

Минеральные следы тектонического воздействия фиксируются в породах месторождения, например, в развитии по периферии месторождения зоны, обогащённой ильменитом с содержанием до 1–2%. При этом рудные тела залегают в зоне развития рутила и лейкоксена в количестве от долей процента до 7% [5]. Достаточно часто встречается графитистое вещество разной степени

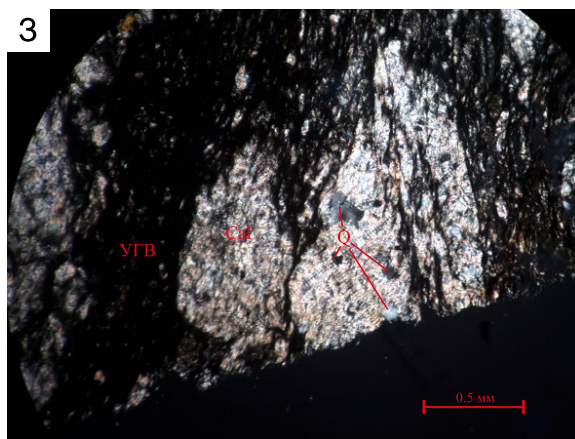
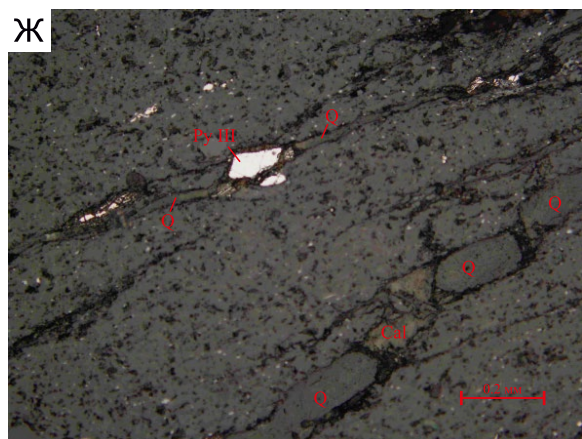
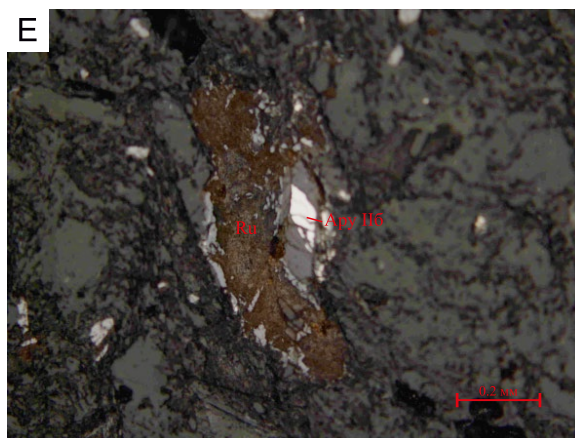
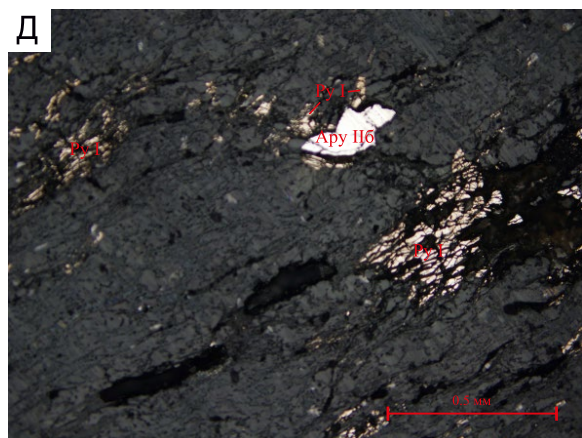
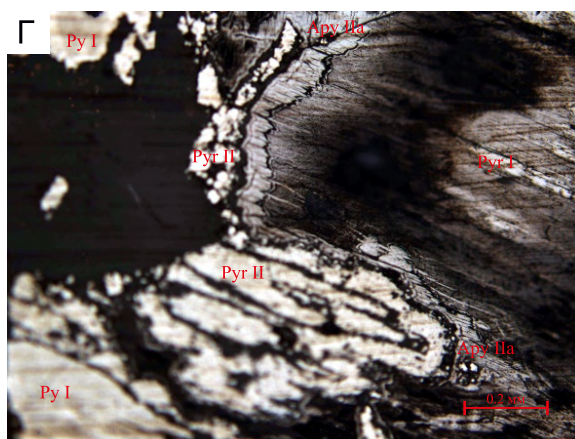
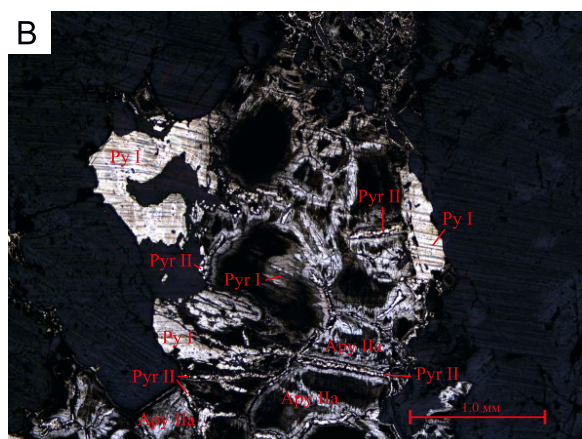
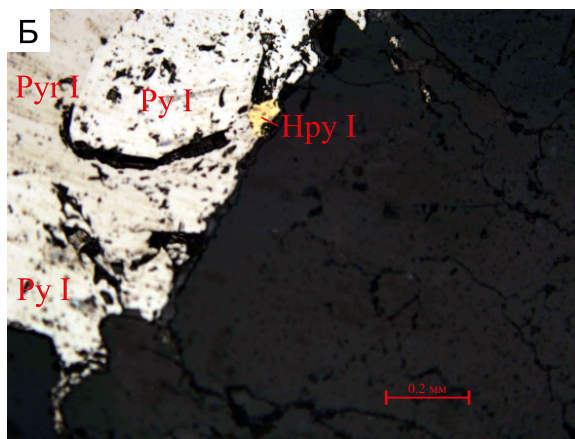
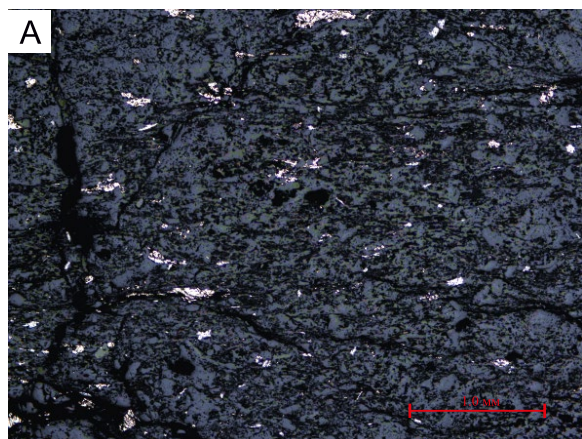


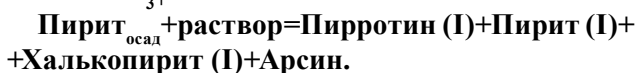
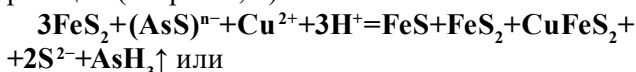
Рис. 5. Взаимоотношения минералов в рудах месторождения Ветренское:

А – тектонически подготовленная углисто-глинистая матрица с катаклазированным аутигенным пиритом; Б – минеральная ассоциация пирротин (pyr)–пирит (py)–халькопирит (hpy) начальной низкопродуктивной стадии рудного этапа; В – коррозионная текстура пирротина и образование по нему оторочек арсенопирита (Apy IIa) и пирита (Py II) (пирит-арсенопиритовая подстадия высокопродуктивной рудной стадии); Г – оторочки новообразованного пирита (Py II) и удлинённых кристаллов арсенопирита (Apy IIa), сросшихся по призме (пирит-арсенопиритовая подстадия высокопродуктивной рудной стадии); Д – арсенопирит (Apy IIб) сульфоарсенидной подстадии высокопродуктивной рудной стадии и катаклазированный пирит (Py I) начальной низкопродуктивной стадии; Е – арсенопирит (Apy IIб) сульфоарсенидной подстадии высокопродуктивной рудной стадии и развитие рутила по ильмениту (Ru); Ж – кварцевые прожилки (Q) с пиритом (Py III) и кальцитом (Cal) (низкопродуктивная жильно-прожилковая стадия); З – кальцит (Cal), растворение и переотложение кварца (Q) в скоплении УГВ

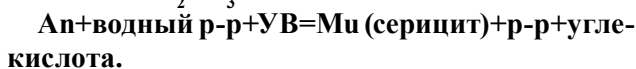
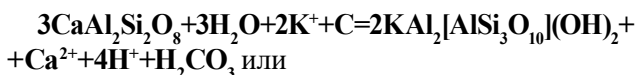
кристалличности как в кварце, так и во вмещающих породах с размером выделений 0,2–1,5 мм. Подобный «полуграфит» [10] в количестве до нескольких процентов присутствует в милонитах.

Таким образом, при прохождении рудно-солевого раствора (флюида) через тектонически подготовленную углисто-глинистую матрицу (рис. 5, А) формируются минеральные ассоциации, отвечающие соответствующим стадиям минералообразования единого этапа рудогенеза:

1. Начальная колчеданная низкопродуктивная стадия представлена парагенезисом пирротин (pyr)–пирит (py)–халькопирит (hpy), характеризуется достаточно высокой температурой и первичным перераспределением низких (непромышленных) содержаний золота. Образование данной минеральной ассоциации отвечает, по мнению авторов, реакции (см. рис. 5, Б):



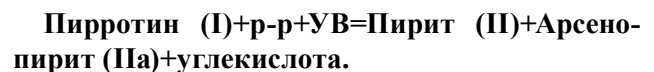
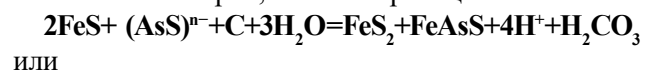
Реакция трансформации рудной нагрузки первичной матрицы кислотная. Полученная минеральная ассоциация перенасыщена серой, что подчёркивается образованием пирротина, а в остаточной подвижной фазе (раствор–флюид) происходит значительное обогащение мышьяком в виде чрезвычайно летучего компонента. Данная реакция протекала на фоне образования серицита по высокоглинозёмистым фазам углисто-глинистой матрицы, например, основного плагиоклаза, обломки которого, по наблюдениям авторов, в изобилии содержатся в углисто-глинистых отложениях:



Таким образом, на данной стадии трансформация сульфидной составляющей происходит на фоне березитизации с обязательным участием углеродистого вещества.

2. Высокопродуктивная рудная стадия. В ходе данной стадии рудогенеза формируются зоны сульфидизации пирит-арсенопиритового состава с возникновением рудных столбов с высокими концентрациями золота. В стадии по минеральным ассоциациям выделяются две подстадии.

Пирит-арсенопиритовая подстадия, отвечающая умеренным температурам, представлена парагенезисом *арсенопирит (ару)–пирит (ру)–золото (Ау)*. Наблюдается перераспределение серы за счёт развития арсенопирита и пирита по пирротину. Сульфидные скопления в результате приобретают коррозионную текстуру (см. рис. 5, В). Арсенопирит формирует оторочки удлинённых кристаллов, сросшихся по призме (см. рис. 5, Г). Скопления мелких плохооформленных кристаллов пирита занимают внешний контур реакционных оторочек пирротина. В целом процесс, по мнению авторов, отвечает реакции:



Данная реакция щелочная, в отличие от условий рудогенеза, происходящего на предыдущей стадии, протекает с уменьшением объёма твёрдых фаз ($\Delta V = -65,117 \text{ см}^3/\text{моль}$), что во многом объясняет коррозионную текстуру пирротина. Решающую роль в осаждении золота на данной подстадии, по-видимому, определяет именно инверсионный режим рудогенеза. Данный процесс, по мнению авторов, протекает на фоне растворения ильменита (см. рис. 5, Е) и образования карбонатов сидерит-анкеритового ряда (см. рис. 4, В):

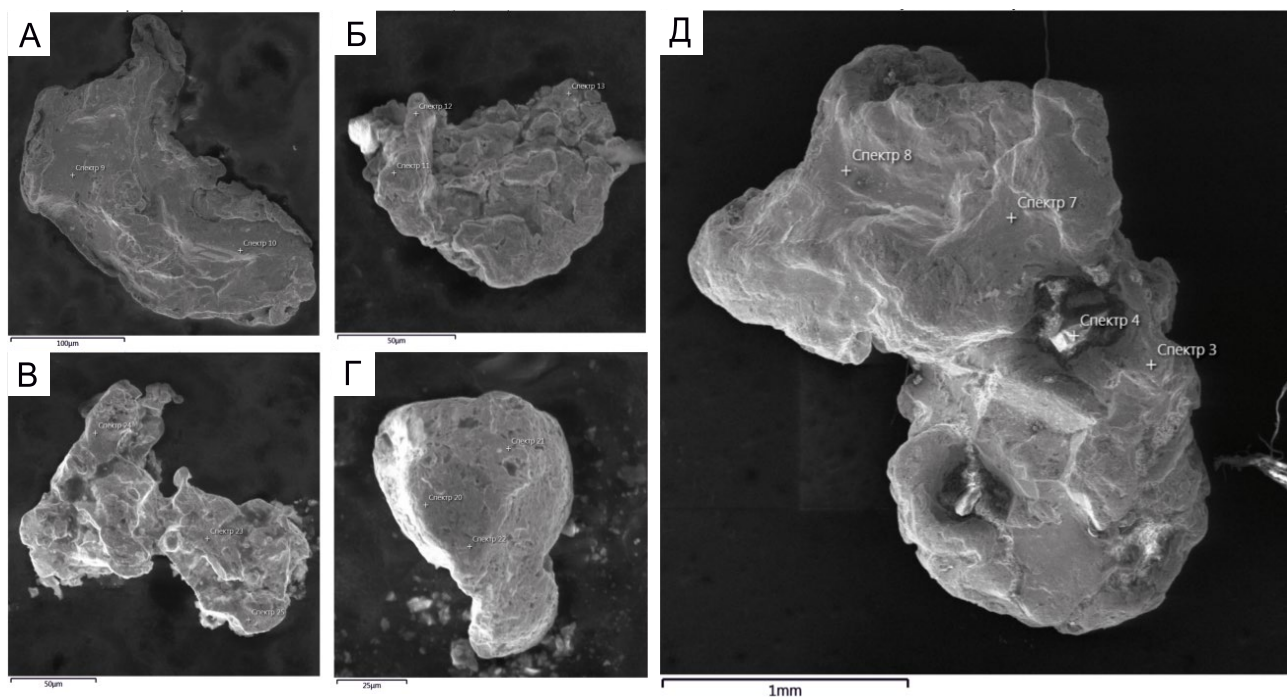
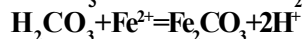
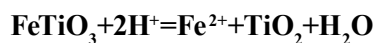
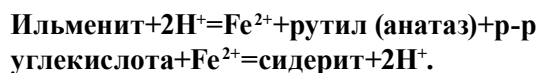


Рис. 6. Самородное золото месторождения Ветренское:

А–Г – микрофотографии выделений золота в отражённых электронах из рудных тел первого типа (тело № 7, аналитик Е.В.Ковальчук, ИГЕМ РАН); Д – микрофотография золота в отражённых электронах из рудного тела второго типа со слепок кристалла пирита и компромиссными гранями (северо-восточный фланг месторождения, аналитик Е.В.Ковальчук, ИГЕМ РАН)



или

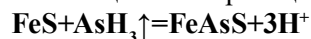


Следует отметить, что реакции, по-видимому, протекают одновременно, при этом реакция разложения ильменита нейтрализует реакцию осаждения сидерита, в результате чего они не оказывают влияния на щелочной ход реакции образования пирит-арсенопиритовой минеральной ассоциации.

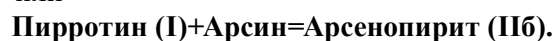
Известно, что на Ветренском месторождении рудные тела залегают в зоне развития рутила и лейкоксена (в количестве от долей процента до 7%) [5], а в шлифах фиксируются скопления железистых карбонатов ряда сидерит–анкерит.

Сульфоарсенидная подстадия представлена золото-арсенопиритовой минеральной ассоциацией, где арсенопирит представлен крупными псевдоромбическими кристаллами (размер 0,2–0,4 мм) с незначительными количествами тетрадимита $\text{Bi}_2\text{Te}_2\text{S}$, гессита Ag_2Te , петцита Ag_3AuTe_2 . Процесс

образования данной минеральной ассоциации отвечает щелочной реакции (см. рис. 5, Д, Е):



или



Таким образом, как видно из реакции, щелочной ход рудогенеза сохраняется, что подтверждает обоснованность отнесения двух подстадий в единую стадию. Следует отметить, что процесс растворения ильменита и образование железистого карбоната являются характерными в целом для высокопродуктивной рудной стадии и являются, скорее всего, её отличительным признаком. При этом наличие сульфоселей и присутствие таблитчатого альбита в минеральной ассоциации свидетельствует о закономерном снижении температуры и является минералогическим маркером её завершения.

3. Низкопродуктивная жильно-прожилковая стадия. На данной стадии происходит формирование прожилковых и жильно-прожилковых зон. Жильные образования, как правило, локализованы во внешнем контуре месторождения в отложениях верхнего триаса и слабозолотоносны.

В минеральной ассоциации данной стадии присутствуют золото и кварц, в подчинённом значении единичные выделения идиоморфного пирита (см. рис. 5, Ж) и незначительное количество кальцита. Причём последний является наиболее поздним минералом, завершающим рудогенез, его образование описывается следующими реакциями:



Из реакций следует, что наблюдается изменение типа диссоциации угольной кислоты, в отличие от условий кристаллизации железистых карбонатов. Это, по-видимому, вызвано снижением температуры системы. Общий тренд реакций, описывающих кристаллизацию кальцита, имеет щелочную направленность, в результате чего местами наблюдается растворение кварца (см. рис. 5, З), транзит и его последующее переотложение в виде халцедоновидных разновидностей.

Как уже отмечалось, в Ветренском месторождении выделяются два структурно-морфологических типа золоторудной минерализации: 1) промышленно золотоносные кварцево-жильные образования (линзы, жилы, желваки и тела неправильной формы), приуроченные к Центральной зоне смятия в породах юры, и 2) слабозолотоносные жильно-прожилковые тела, зоны, развитые за внешним контуром месторождения в породах триаса. Для каждого типа характерен набор типоморфных признаков золота.

Первый тип золоторудной минерализации характеризуется высокими содержаниями золота (в среднем по месторождению в руде 11,6 г/т, в отдельных блоках до 30 г/т, в пробах до 700 г/т); наиболее продуктивными являются висячие контакты кварцевых блоков с сильно углефицированными терригенными породами. Золото светло-жёлтое, тонкое – размером от 0,05 до 0,15 мм; пробность 720–870‰; всегда присутствует 12–15% изоморфной примеси серебра; фиксируются микропримеси теллура, мышьяка и ртути; морфология выделений пластинчатая, как правило с послонным ростом, комковидная, губчатая, редко плохооформленные кристаллические формы (рис. 6, А–Г); золотины насыщены микровключениями кварца, реже альбита.

Второй тип золоторудной минерализации характеризуется содержаниями золота от следов до первых граммов на тонну. Наиболее золотоносными частями являются пересечения прожилкования с более крупными жилами лестничного типа. Золото светло-ярко-жёлтое, размерность

от 0,5 до 2 мм; пробность 910–95‰; присутствует 5–8% изоморфной примеси серебра; морфология выделений (см. рис. 6): пластинчатая, комковидная, дендритовидная, сростки плохо оформленных кристаллов формы; на золотилах часто фиксируются слепки кристаллов пирита и развитие компромиссных граней.

Таким образом, типоморфные признаки золота из разных типов рудных тел месторождения Ветренское отражают условия рудоотложения. Для золота из рудных тел первого типа насыщенность включениями, морфология выделений и их размерность, а также наличие в золоте микропримесей теллура, мышьяка и ртути свидетельствуют о его гидротермально-метасоматическом генезисе. Крупные высокопробные выделения золота из рудных тел второго типа имеют гидротермальное происхождение.

Представленная геолого-генетическая модель предполагает, что золотое оруденение сформировалось за счёт разгрузки раствора-флюида магматического происхождения в тектонически подготовленной углисто-глинистой матрице. Ведущая роль как основного рудогенерирующего и рудоматеринского источника принадлежит массивам гранитоидов, таковым, по мнению авторов, для Ветренского месторождения является нескрытый выступ Право-Обинского гранитного массива, фиксирующийся в геофизических полях северо-восточнее месторождения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Гамянин Г. Н., Горячев Н. А., Бахарев А. Г. и др.* Условия зарождения и эволюции гранитоидных золоторудно-магматических систем в мезозоидах Северо-Востока Азии. – Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2003. – 196 с.
2. *Геологическая карта и Карта полезных ископаемых Охотско-Колымского региона масштаба 1:500 000: карты, объяснительная записка в 4-х кн. / Отв. исп. Н. Г. Маннафов, ред. Г. М. Сосунов.* – Магадан: Комитет природных ресурсов по Магаданской области, ГП «Магадан-геология», 1999.
3. *Горячев Н. А.* Происхождение золото-кварцевых жильных поясов Северной Пацифики. – Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2003. – 143 с.
4. *Журавлёв В. Г., Володин Д. В., Володина Т. П.* Геологический отчёт с подсчётом запасов по Ветренскому

- золоторудному месторождению, ТКГЭ СВТГУ. Тома I–IV. – Усть-Омчуг, 1972.
5. *Калинин А. И., Панычев И. А.* Геологическое строение и минералогия Ветренского золоторудного месторождения // *Материалы по геологии и полезным ископаемым Северо-Востока СССР. Вып. 21.* – Магадан: Магаданское книжное изд-во, 1974. – С. 142–147.
 6. *Михайлов Б. К., Прусс Ю. В., Волков С. В., Стружков С. Ф.* Крупнообъёмные золоторудные месторождения Центральной Колымы – объекты XXI века // *Золотодобывающая промышленность России. Проблемы и перспективы.* – М., 2001. – С. 23–28.
 7. *Персигов Э. С.* Вязкость магматических расплавов. – М.: Наука, 1984. – 160 с.
 8. *ТЭО постоянных разведочных кондиций месторождения Ветренское, ОАО «Сусуманзолото».* – Магадан, 2010.
 9. *Рамдор П.* Рудные минералы и их сростания. – М.: Изд-во иностранной литературы, 1962.
 10. *Фридовский В. Ю., Полуфунтикова Л. И., Кудрин М. В.* Золоторудные месторождения центральной части Яно-Колымского металлогенического пояса: геология, геохронология, условия формирования // *Материалы IX Международной научно-практической конференции «Научно-методические основы прогноза, поисков, оценки месторождений алмазов, благородных и цветных металлов» (17–19 апреля 2019 г.).* – М.: ФГБУ «ЦНИГРИ», 2019. – С. 145–146.
 11. *Morse S. A.* Alkali Feldspar–Water at 5 kb // *Carnegie Institution of Washington. Year Book 67.* 1967–1968. – P. 120–126.
 12. *Yoder H. S.* Albite–Anorthite–Quartz–Water at 5 kb // *Carnegie Institution of Washington. Year Book 66.* 1966–1967. – P. 477–478.

REFERENCES

1. *Gamyarin G.N., Goryachev N.A., Bakharev A.G. et al.* Usloviya zarozhdeniya i evolyutsii granitoidnykh zoloto-rudno-magmaticheskikh sistem v mezozoidakh Severo-Vostoka Azii [Conditions of origin and evolution of granitoid gold-magmatic systems in mesozoics of North-East Asia]. Magadan, SVKNII DVO RAN Publ. 2003. 196 p.
2. *Geologicheskaya karta i Karta poleznykh iskopayemykh Okhotsko-Kolymskogo regiona masshtaba 1:500 000: karty, ob'yasnitel'naya zapiska v 4-kh kn* [Geological map and mineral Map of the Okhotsk-Kolyma region scale 1: 500 000: maps, explanatory note in 4 books] Responsible executor N. G. Mannafov, editor G. M. Sosunov. Magadan, Komitet prirodnnykh resursov po Magadanskoj oblasti, GP «Magadan-geologiya» Publ. 1999.
3. *Goryachev N.A.* Proiskhozhdenie zoloto-kvartsevykh zhil'nykh pojasov Severnoi Patsifiki [Origin of the gold-quartz vein belts of Northern Pacifica]. Magadan, SVKNII DVO RAN Publ. 2003. 143 p.
4. *Zhuravlev V.G., Volodin D.V., Volodina T.P.* Geologicheskii otchet s podschetom zapasov po Vetrenskomu zolotorudnomu mestorozhdeniyu [Geological report with calculation of reserves for the Vetrensky gold Deposit]. TKGE SVTGU Publ. Vol. I–IV. Ust'-Omchug. 1972.
5. *Kalinin A.I., Panychev I.A.* Geologicheskoe stroenie i mineralogiya Vetrenskogo zolotorudnogo mestorozhdeniya [Geological structure and Mineralogy of the Vetrensky gold Deposit]. Mat-ly po geologii i poleznym iskopaemym Severo-Vostoka SSSR. Issue 21. Magadan. Magadanskoe knizhnoe Publ. 1974. P. 142–147.
6. *Mikhailov B.K., Pruss Yu.V., Volkov S.V., Struzhkov S.F.* Krupnoob'emnye zolotorudnye mestorozhdeniya Tsentral'noi Kolymy – ob'ekty XXI veka [Large-volume gold deposits of Central Kolyma-objects of the XXI century]. Zolotodobyvayushchaya promyshlennost' Rossii. Problemy i perspektivy. Moscow. 2001. P. 23–28.
7. *Persikov E.S.* Vyazkost' magmaticheskikh rasplavov [Viscosity of magmatic melts]. Moscow, Nauka Publ. 1984. 160 p.
8. *TEO postoyannykh razvedochnykh konditsii mestorozhdeniya Vetrenskoe* [Feasibility study of permanent exploration conditions of the Vetrenskoye field]. OAO «Susumanzoloto» Publ., Magadan. 2010.
9. *Ramdor P.* Rudnye mineraly i ikh srastaniya [The ore minerals and their intergrowths]. Moscow, Izdvo inostrannoi literatury Publ. 1962.
10. *Fridovskii V.Yu., Polufuntikova L.I., Kudrin M.V.* Zolotorudnye mestorozhdeniya tsentral'noi chasti Yano-Kolymskogo metallogenicheskogo poiyasa: geologiya, geokhronologiya, usloviya formirovaniya [Gold deposits in the Central part of the Yano-Kolyma metallogenic belt: Geology, geochronology, formation conditions]. Materialy IX Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Nauchno-metodicheskie osnovy prognoza, poiskov, otsenki mestorozhdenii almazov, blagorodnykh i tsvetnykh metallov» (17–19 aprelya 2019 g.). Moscow, FGBU «TsNIGRI» Publ. 2019. P.145–146.
11. *Morse S.A.* Alkali Feldspar–Water at 5 kb // Carnegie Institution of Washington. Year Book 67. 1967–1968. P. 120–126.
12. *Yoder H.S.* Albite–Anorthite–Quartz–Water at 5 kb. Carnegie Institution of Washington. Year Bookee 66. 1966–1967. P. 477–478.

«Угуйский» тип большеобъёмных золоторудных месторождений, сформированных в линейной коре выветривания (юго-западная Якутия)

Ю.А.ЗУБКОВ, А.В.САГИР (ООО «ГеоГолд»; 678960, Республика Саха (Якутия), г. Нерюнгри, ул. Карла Маркса, д. 16, кв. 98),
Н.В.ЧВАРОВА (ООО «Нерюнгри-Металлик»; 678976, Республика Саха (Якутия), г. Нерюнгри, пгт. Хани, ул. 70 лет Октября, д. 3, кв. 55)

В юго-западной Якутии в пределах Угуйского грабена выявлена серия золоторудных месторождений – Гросс, Таборное, Тёмное, Высокое и др. – с суммарными защищёнными запасами золота более 330 т. Самым крупным и наиболее изученным является месторождение Гросс с запасами золота 265 т, которое было открыто и разведано в течение 2008–2014 гг.

Месторождения сформировались в период мезозойской тектоно-магматической активизации, когда в южной части Угуйского грабена происходило внедрение малых интрузий сиенитов калиевой серии, сопровождавшееся калиевым метасоматозом и пиритизацией вмещающих пород вдоль мощных тектонических зон взбросо-надвиговой природы. Нахождение зон пиритизации в линейной коре выветривания неполного профиля обусловило формирование большеобъёмных золоторудных месторождений с невысокими содержаниями металла и уникальными технологическими свойствами.

Ключевые слова: золоторудные месторождения Гросс, Таборное, Угуйский грабен, рифейские песчаники, щелочные сиениты, калиевый метасоматоз, взбросо-надвиги, пиритизация, линейная кора выветривания.

Зубков Юрий Андреевич



zuzu@list.ru

Сагир Александр Васильевич

sagiralex@mail.ru

Чварова Наталья Валериевна

Natalia.Chvarova@nordgold.com

The «Uguisky» type of large-volume gold deposits formed in a linear weathering crust (Southwestern Yakutia)

Yu.A.ZUBKOV, A.V.SAGIR (GeoGold LLC), N.V.CHVAROVA (Neryungr-Metallik LLC)

In southwestern Yakutia, within the Uguisky graben, a series of gold ore deposits – Gross, Tabornoye, Temnoe, Visokoe and others – with mutual mineral reserves of more than 330 tons of gold was revealed. The largest and most studied is the Gross deposit with 265 tons of gold reserves, which was discovered and explored during 2008–2014.

Deposits were formed during the Mesozoic tectonic-magmatic activation, when in the southern part of the Uguisky graben, small intrusions of syenites of the potassium series were introduced, accompanied by potassium and pyritic alteration of the host rocks along thick tectonic zones of thrust nature. The presence of pyritization zones in the linear weathering crust of an incomplete profile led to the formation of large-volume gold deposits with low metal contents and unique technological properties.

Key words: gold deposit Gross, Tabornoe, Uguisky graben, Rifean sandstones, alkaline syenites, potassium metasomatism, thrust, pyritization, linear weathering crust.

Золоторудные месторождения нового «угуйско-го» типа объединяют разрабатываемые в настоящее время в юго-западной Якутии месторождения Гросс, Таборное и др. Они расположены на западном склоне Алдано-Станового щита Сибирской

платформы в южной части Угуйского грабена (рис. 1). Грабен был образован в рифее на архейских метаморфических образованиях кристаллического фундамента, в плане он имеет ромбовидную форму. Ширина грабена с запада на восток

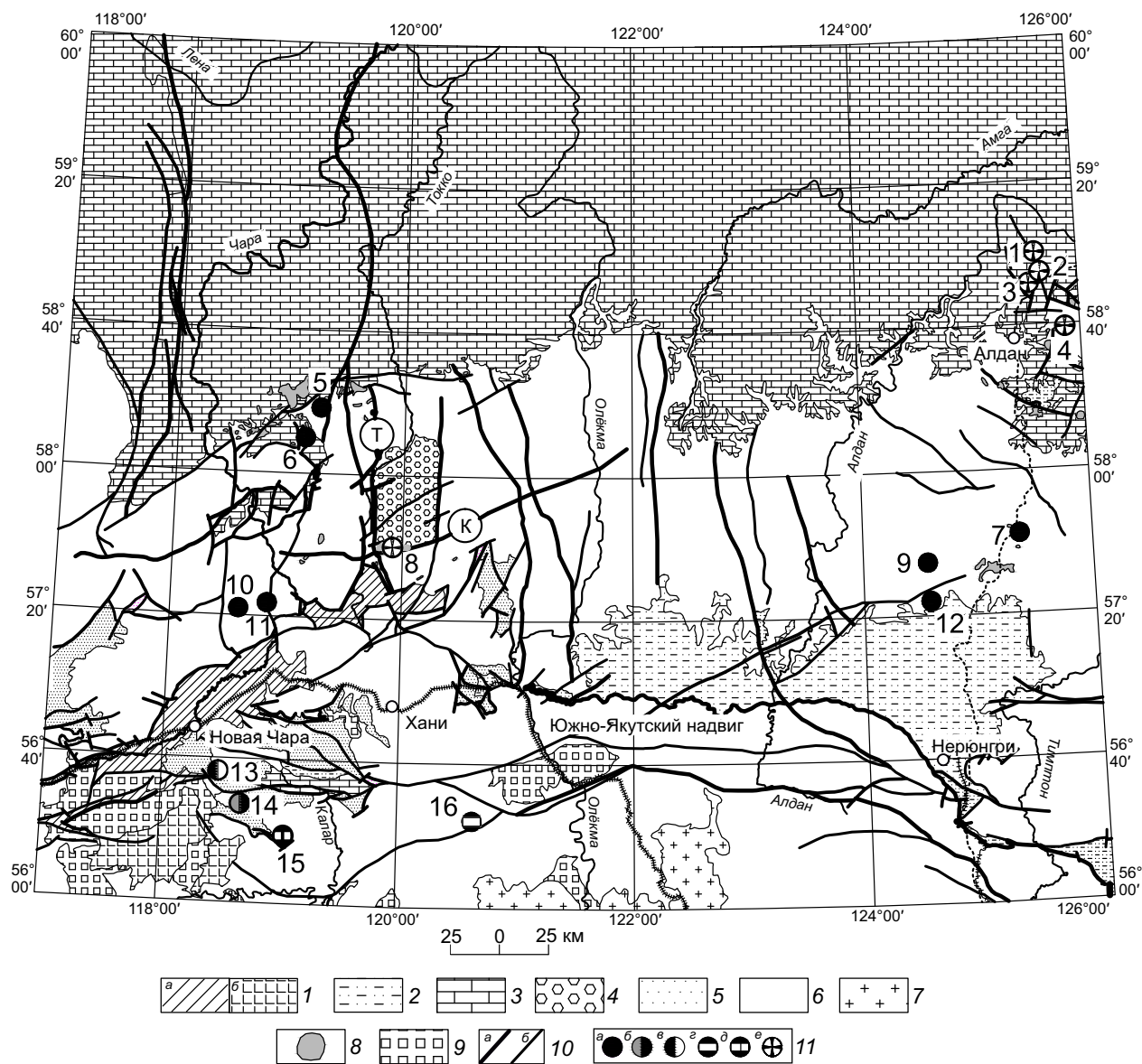


Рис. 1. Структурно-геологическая схема западной части Алдано-Станового щита. По [4], с дополнениями:

1 – неоген-четвертичные: а – впадины (пески, галечники, глины), б – лавы и туфы трахибазальтов; 2 – мезозойские впадины (терригенные отложения юры); 3 – рифей-палеозойские терригенно-карбонатные отложения; 4 – Угуйский грабен (неметаморфизованные терригенные отложения рифея); 5 – раннепротерозойские грабены (метаморфизованные карбонатно-терригенные отложения); 6 – кристаллический фундамент (метаморфические и магматические образования архея); 7 – мезозойские граниты и граносиениты Становой области; 8 – мезозойские щелочные интрузии Алдано-Станового щита; 9 – среднепалеозойские щелочные интрузии Становой области; 10 – разломы: а – главные, б – второстепенные: К – Кондинский, Т – Токкинский; 11 – месторождения металлических полезных ископаемых: а – Fe: Тарынахское (5), Кебектинское, Ималыкское, Горкитское (6), Таежное (7), Десовское (9), Нижнесакуканское (10), Салуматское (11), Южное (12), б – Ti, Fe: Чинейское (14), в – Cu: Удоканское (13), г – Se: Тас-Юряхское (16), д – Se, Y, Nb, Ta, Be, Zr: Катугинское (15), е – Au: Северное (1), Центральное и Порфирировое (2), Боковое (3), Рябиновое (4), Таборное и Гросс (8)

составляет 30 км, длина с юга на север – 70 км. В нижней части разреза слагающих его отложений грабен выполнен рифейскими меденосными вулканогенно-карбонатно-терригенными пестроцветными образованиями, которые узкой полосой обнажаются вдоль его восточного края. Их мощность варьирует от 800 до 400 м на востоке и сокращается до нуля в центральной части грабена. Выше трансгрессивно залегает терригенная толща красноцветных аркозовых песчаников кебектинской серии (телиэрской и олонноконской свит) мощностью от 500 до 2000 м, которые выполняют основную часть грабена (более 90%). На севере и юге грабена аркозовые песчаники с базальными конгломератами в основании залегают на раз-

мытой поверхности архейского кристаллического фундамента. Песчаники полого погружаются к центру грабена, где имеют субгоризонтальные залегания.

С запада и востока Угуйский грабен ограничен, соответственно, Токкинским и Чаруодинским субмеридиональными разломами. С юга грабен ограничен Кондинским взбросо-надвигом. В южной части грабена выделяется субширотная (70°) зона развития пликативных структур и тектонических нарушений взбросо-надвигового типа, которые являются передовыми нарушениями Кондинского взбросо-надвига. Южно-Угуйская зона шириной 3–4 км и протяжённостью до 20 км вмещает все известные в настоящее

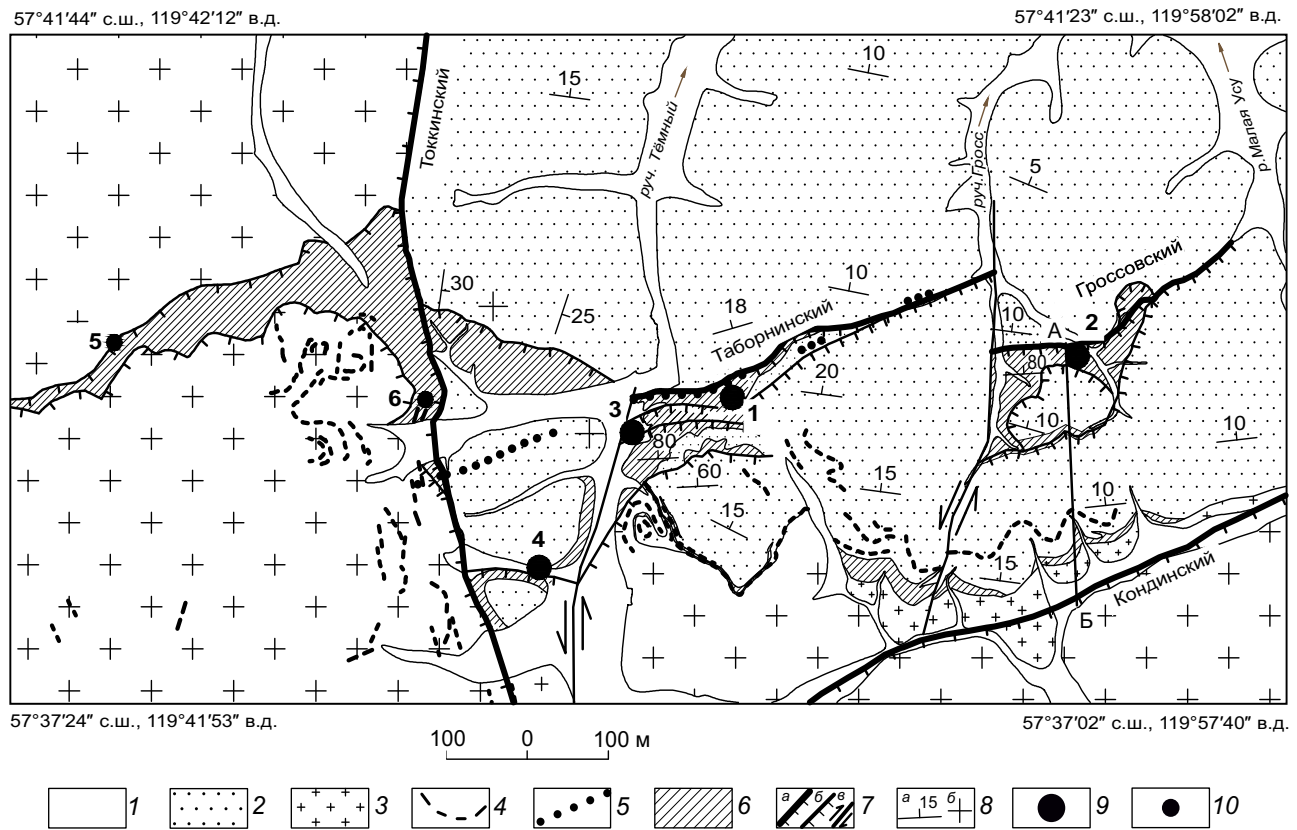


Рис. 2. Геологическая карта Южно-Угуйской золотоносной зоны:

1 – голоценовые и плейстоценовые аллювиальные, пролювиальные, флювиогляциальные отложения: пески, галечники, валуны, гравий, глыбы (1–30 м); 2 – рифей, олонноконская свита (общая мощность до 1500 м): красноцветные кварц-полевошпатовые песчаники, в основании горизонт конгломератов и конгломерато-брекчий (0–30 м) с прослоями алевролитов; 3 – поздnearхейские метаморфизованные породы фундамента: граниты, гранито-гнейсы; 4 – Алданский интрузивный комплекс: раннемеловые силлы, дайки сиенитов и бостонитов; 5 – позднерифейский Торский гипабиссальный комплекс: дайки долеритов; 6 – рудовмещающие линейные коры выветривания по калиевым метасоматитам: бурые лимонит-пелитовые породы по песчаникам и породам фундамента; 7 – разрывные нарушения: а – надвиги, взбросы главные и их названия, б – надвиги, взбросы второстепенные, в – сдвиги; 8 – элементы залегания слоистости: а – наклонное, б – горизонтальное; 9 – месторождения золота: 1 – Таборное, 2 – Гросс, 3 – Тёмное, 4 – Высокое; 10 – проявления золота: 5 – Аномалия-13, 6 – Токкинское

время месторождения золота «угуйского» типа (рис. 2). Все они располагаются в многолетне-мёрзлых породах.

История открытия золоторудных месторождений «угуйского» типа. Впервые повышенное содержание золота (0,001–0,2 г/т) в обохренных песчаниках кебектинской (ныне олонноконской) свиты было установлено В.В.Ляхницким в 1968 г. бассейне руч. Таборный при подготовке к изданию Госгеолкарты-200 на лист О-50-XXIV (Южно-Якутская комплексная экспедиция, пос. Чульман).

В 1976–1979 гг. в южной части Угуйского грабена была проведена геологическая съёмка масштаба 1:50 000 под руководством А.А.Сясько (Тимптоно-Учурская геологоразведочная экспедиция, г. Алдан). В южной части Угуйского грабена впервые было выделено оруденение золото-кварцевой формации в бассейне руч. Таборный (1–2 г/т), в верховьях руч. Гросс (0,1–0,6 г/т), ручьёв Врезанный и Рудный, что послужило основным толчком для дальнейшего изучения этой территории. В 1978–1981 гг. на обнаруженных здесь перспективных площадях под руководством В.И.Шевченко были выполнены поисковые работы, и участки ручьёв Таборный, Тёмный и Гросс переведены в разряд золоторудных проявлений. Дальнейшее их изучение, проведённое

в 1990–1991 гг. С.В.Седенко (ЦПСЭ ЯПГО), позволило оценить прогнозные ресурсы рудопроявлений Таборное по категориям P_1+P_2 – 50 т и Гросс по категории P_3 – 50 т.

В 1999 г. по результатам разведочных работ, проведённых В.Г.Амарским (ГГПП «Южякутгеология», пос. Чульман), рудопроявление Таборное было переведено в разряд месторождений с геологическими запасами золота категории C_2 – 27 т, забалансовыми запасами – 8 т и прогнозными ресурсами категории P_1 – 2 т.

В 2002 г. недропользователем ООО «Нерюнгри-Металлик» на месторождении Таборное была начата опытно-промышленная отработка с добычей руды открытым способом и её обогащением методом кучного выщелачивания. В результате проведённых под руководством И.А.Пашкова детальных разведочных работ (2003–2006 гг.) геологические запасы разведанной части месторождения Таборное по категории C_1+C_2 составили 20,3 т золота со средним содержанием 1,5 г/т, из них в контуре карьера – 23,5 млн. т руды и 14,8 т золота со средним содержанием – 1,59 г/т.

В течение 2005–2014 гг. в пределах Южно-Угуйской зоны были проведены дальнейшие поисково-оценочные и разведочные работы с использованием колонкового бурения в объёме 225 тыс. м (рис. 3).



Рис. 3. Детальная буровая разведка месторождения Гросс на стадии завершения, 2014 г.



Рис. 4. Карьер месторождения Таборное, 2019 г.

За это время под руководством Ю.А.Зубкова в 5 км к востоку от месторождения Таборное было разведано и подготовлено к промышленному освоению крупное золоторудное месторождение Гросс с защищёнными геологическими запасами категории C_1+C_2 – 415 млн. т руды, золота – 265 и серебра – 1340 т (попутный металл, извлекаемый при аффинаже) со средними промышленными содержаниями 0,65 и 3,23 г/т, соответственно. Из них в контуре карьера:

173 млн. т руды и 136,1 т золота со средним содержанием 0,79 г/т – балансовые запасы, оконтуренные по бортовому содержанию 0,4 г/т;

105,8 млн. т руды и 35,36 т золота со средним содержанием 0,33 г/т – забалансовые запасы, оконтуренные по бортовому содержанию 0,2–0,4 г/т.

Прогнозные ресурсы восточного и южного флангов месторождения Гросс, оценённые по категории P_1 , составили 307 т золота при среднем содержании 0,9 г/т.

Первооткрывателями месторождения Гросс признаны: от ООО «ГеоГолд» (2008–2014 гг.) Ю.А.Зубков, А.Н.Колданов, В.В.Савельев, изучившие месторождение и проводившие поисково-оценочные работы, детальную разведку и подсчёт запасов золота и серебра, и от государственных учреждений А.А.Сясько, В.И.Шевченко и С.В.Седенко, выполнившие первые поисковые работы.

Кроме того, на западном фланге месторождения Таборное были открыты и разведаны месторождения золота с небольшими геологическими запасами категории C_1+C_2 : Тёмное – 4,4 т золота со средним содержанием 1,31 г/т и Высокое – 1,8 т золота с содержанием 1,33 г/т.

Разработка месторождения Таборное и его флангов ведётся до настоящего времени (рис. 4). Открытая разработка и обогащение руды методом кучного выщелачивания на руднике Гросс были начаты в 2014 г., и уже в 2019 г. годовая производительность рудника достигла почти 8 т золота (рис. 5).

В 2016–2018 гг. в результате поисковых работ, проведённых в районе руч. Врезанный, на западном фланге Южно-Угуйской зоны в породах архея было обнаружено рудопроявление Аномалия-13 с прогнозными ресурсами золота категории P_1 30 т и средним содержанием золота 0,8–1,0 г/т.

В связи с тем, что в открытой печати характеристика месторождения Гросс и его спутников приводится впервые, описание их геологического строения даётся подробно.

В данной работе определение породообразующих компонентов XRF методом, состава монофракций пирита методом LA-ICP-MS, а также датировки абсолютного возраста пород приведены по результатам договорных работ (А.В.Самсонов, Е.Ю.Аникина, ИГЕМ, г. Москва, 2011–2014 гг.). Аэро-гамма-спектрометрические исследования (АГСМ) также были выполнены на договорной основе (И.В.Молодцов, ФГУ НПП «Геологоразведка», г. Санкт-Петербург, 2009–2010 гг.).

Геологическое строение Южно-Угуйской золотоносной зоны. Все золоторудные месторождения южной части Угуйского грабена однотипны, расположены в единой стратиграфической толще рифейских аркозовых песчаников, лишь рудопроявления Токкинское и Аномалия-13 приурочены к архейским гранито-гнейсам фундамента



Рис. 5. Карьер месторождения Гросс, 2016 г.

(см. рис. 2). На всех них проявлен однотипный сиенитовый магматизм, калиевый метасоматоз и золотое оруденение.

Стратиграфия. Золоторудные месторождения «угуйского» типа Гросс, Таборное, Тёмное и Высокое расположены в толще монотонных пологозалегающих красноцветных полимиктовых и аркозовых песчаников олонноконской свиты. В пределах Южно-Угуйской зоны песчаники с базальными конгломератами в основании несогласно залегают на метаморфических породах архейского кристаллического фундамента. Породы падают на север, северо-восток под углом от 0 до 20°. Мощность песчанниковой толщи в южной части грабена превышает 1000 м.

Песчаники олонноконской свиты параллельно и косослоистые, имеют следующий состав обломков: литокласты (гранитоиды, эффузивы), кристаллокласты – кварц различной степени окатанности (30–60%), плагиоклаз слабоокатанный (до 40%), калиевый полевой шпат – микроклин слабоокатанный (15–20%), мусковит, биотит (до 1%), эпидот, турмалин, апатит, циркон, рутил (единичные зёрна). Из рудных минералов значительно распространён гематит размером от первых мкм до 40 мкм (3–5%), ильменит, магнетит, титаномагнетит (от 0 до 10%). Песчаники не метаморфизованы и характеризуются ничтожно малым количеством $C_{орг}$ – 0–0,1%.

Химический состав красноцветных песчаников, по данным XRF-метода (в %): SiO_2 – 74–78, TiO_2 – 0,3–0,4, Al_2O_3 – 10–14, Fe_2O_3 – 3, MnO – 0,1, MgO – 0,4–1, CaO – 0,2–6, Na_2O – 2,4–3, K_2O – 3–4, P_2O_5 – 0,03–0,09, S – 0–0,06.

Абсолютные датировки обломочных зёрен циркона из красноцветных песчаников, полученные U-Pb методом сотрудниками ИГЕМ, показали значения от 1,45 до 3,4 млрд. лет, что соответствуют раннему рифею–раннему архею. Это означает, что накопление песчаников произошло не позднее 1,45 млрд. лет, в связи с чем принят рифейский возраст олонноконской свиты.

Магматизм. Красноцветные песчаники олонноконской свиты прорваны раннемеловыми силлами и дайками эгириновых сиенит-порфиров и бостонитов Алданского комплекса, а также единичными позднерифейскими дайками долеритов Торского комплекса.

Несколько силлов и даек сиенит-порфиров установлены на месторождениях Таборное, Гросс, Тёмное, Высокое, а также в районе рудо-

проявления Аномалия-13. Их мощность варьирует от 2,5 до 10 м. Становление сиенитов происходило в 2 фазы. Породы первой фазы внедрились до проявления метасоматоза и формирования золоторудных тел, породы второй фазы – после. На породы первой фазы наложены постмагматическая калишпатизация и золотая минерализация. Сиениты второй фазы безрудные, секут метасоматиты, все типы руд и приразломные флексуры. Сиениты обеих фаз внедрения состоят почти на 100% из микролейст калиевого полевого шпата.

Минеральный состав даек: эгирин-авгит, калишпат, альбит, акцессорные (магнетит, апатит, сфен). Структура пород порфиридная с бостонитовой основной массой. Текстура массивная или трахитоидная.

Химический состав дорудных сиенитов, по данным XRF-метода (в %): SiO_2 – 61,50, TiO_2 – 0,53, Al_2O_3 – 14,79, Fe_2O_3 – 5,17, FeO – 0,21, MnO – 0,09, MgO – 1,66, CaO – 3,59, Na_2O – 2,63, K_2O – 10,68. Пострудные сиениты отличаются лишь повышенным до 18,72% содержанием Al_2O_3 и пониженным до 0,66% содержанием Na_2O . По совокупности признаков можно классифицировать породы первой и второй фаз внедрения как щёлочнополевошпатовые сиениты до трахитов субщелочных и щелочных (по появлению эгирина). Все они лейкократовые, высокоглинозёмистые и относятся к калиевой серии.

Возраст дорудных и пострудных субщелочных сиенитов близок и соответствует раннему мелу (берриасс). Для дорудных сиенитов $^{40}Ar/^{39}Ar$ изотопное датирование по калиевым полевым шпатам (КПШ) показало значение возраста $143,9 \pm 1,5$ млн. лет. Для пострудных сиенитов возраст, установленный U-Pb методом по цирконам, составляет 140 ± 2 млн. лет.

В дорудных сиенитах, расположенных в зонах метасоматоза, нередко отмечается предпочтительная концентрация золота по отношению к песчаникам.

Дайки долеритов позднерифейского Торского гипабиссального комплекса отмечаются в рифейских красноцветных песчаниках на месторождении Таборное, где субширотная дайка мощностью 7 м расположена в разломе, ограничивающем с севера Главную рудную зону. Она фрагментарно прослеживается за пределы месторождения и на восток, и на запад на расстояние 6,5 км. Долериты в зоне разлома сильно будинированы, раздроблены, трещиноваты и характеризуются

приуроченностью к ним рудных тел с повышенными содержаниями золота. К югу от Угуйского грабена в породах кристаллического фундамента дайки долеритов имеют субвертикальное залегание и субширотное простирание при значительной мощности и протяжённости.

Метасоматические образования. С мезозойским сиенитовым магматизмом калиевого ряда парагенетически связано проявление калиевого метасоматоза, распространённого в Южно-Угуйской зоне по породам различного состава и возраста. Метасоматические преобразования преимущественно проявлены в мощных зонах катаклаза и милонитизации, сопровождающих взбросо-надвиги.

Первичные неокисленные калиевые метасоматиты вскрыты скважинами на месторождениях Таборное и Гросс на глубине 350 м и более. Они представляют собой серую и тёмно-серую плотную породу, в которой развита тонко-прожилковая кварц-карбонатная (доломит), реже барит-флюоритовая минерализация (до 1–2%) и тонкая (0,01–0,1 мм) неравномерно рассеянная вкрапленность золотоносного пирита, составляющая 0,07–1,0%, на локальных участках до 3–5% и более. Микроскопический состав метасоматитов представлен кварцем, микроклином, цемент сложен серицитом (2–3%), калиевым полевым шпатом, пиритом (0,07–5%), редко встречаются тонкие прожилки кварца. Пирит имеет форму пентагондодекаэдров и кубов.

Методом LA-ICP-MS в монофракциях пирита, отобранного из метасоматитов первичных руд на месторождении Гросс, установлено содержание золота от 7 до 232 г/т, серебра от 52 до 133 г/т. На месторождении Таборное содержание золота в пирите – 244–1752, серебра – 54–152 и мышьяка – 1890 и 1467 г/т.

В коре выветривания вид и состав калиевых метасоматитов резко изменяется. Петрографические исследования окисленных метасоматитов показывают, что калиевые минералы метасоматической природы присутствуют в основном в виде изотропной тонкозернистой массы (пелита), не поддающейся точной диагностике. Пирит замещается лимонитом. Золото высвобождается из пирита и укрупняется. Иногда отмечаются полные псевдоморфозы золота по пириту. Состав породообразующих компонентов неокисленных метасоматитов (первичных руд), по данным XRF-метода (в %): SiO_2 – 70–77, TiO_2 – 0,3–0,5, Al_2O_3 – 10–12, Fe_2O_3 – 3, MnO – 0,02–0,06,

MgO – 0,6–1, CaO – 1,5–3, Na_2O – 0,06–1,5, K_2O – 7–11, P_2O_5 – 0,1–0,2, S – 1,5–2, ППП – 3–4.

При сравнении составов неизменённых безрудных песчаников и метасоматитов видно, что в процессе метасоматоза происходит заметный привнос калия, серы, летучих компонентов и вынос натрия. Кремний, железо, алюминий, кальций и магний ведут себя инертно.

Калиевые метасоматиты Южно-Угуйской зоны по некоторым признакам близки к ураноносной низкотемпературной метасоматической формации зон региональных разломов [6], калиевым метасоматитам средне-низкотемпературной фельдшпатитовой формации [7] и гумбеитам Урала [3].

Несмотря на имеющиеся различия в геологической обстановке формирования и минеральном составе, калиевые метасоматиты Южно-Угуйской зоны можно отнести к группе средне-низкотемпературных метасоматических формаций, объединяя их с гумбеитами Д.С.Коржинского.

Геохимическую специализацию калиевых метасоматитов – гумбеитов – Южно-Угуйской зоны характеризуют повышенные содержания золота, серебра, мышьяка и ванадия.

Возраст метасоматических изменений и оруденения сопоставим с возрастом субщелочных сиенитов калиевой серии – ранний мел (берриас).

Зоны метасоматоза, приуроченные к рудовмещающим разломам месторождений и рудопроявлений Южно-Угуйской зоны, маркируются радиоактивными аномалиями калиевой природы, которые чётко выявляются при проведении аэрогамма-спектрометрической съёмки (АГСМ) и наземной радиометрии.

Тектоника. Главными рудоконтролирующими структурами Южно-Угуйской зоны являются передовые тектонические нарушения – Гроссовский и Таборнинский взбросо-надвиги, оперяющие Кондинский разлом (см. рис. 2), который, по мнению авторов, является одной из ветвей Южно-Якутского регионального взбросо-надвига (см. рис. 1). В зонах передовых взбросо-надвигов песчаники олонноконской свиты и силлы дорудных сиенитов смяты в приразломные флексуры, подвержены интенсивной трещиноватости и калиевому метасоматозу. Рудные тела в основном секут слоистость песчаников, реже занимают согласное с ней положение.

Наиболее детально изучено геологическое строение месторождений Гросс и Таборное.

Главная рудовмещающая структура месторождения Гросс (рис. 6) развита в рифейских

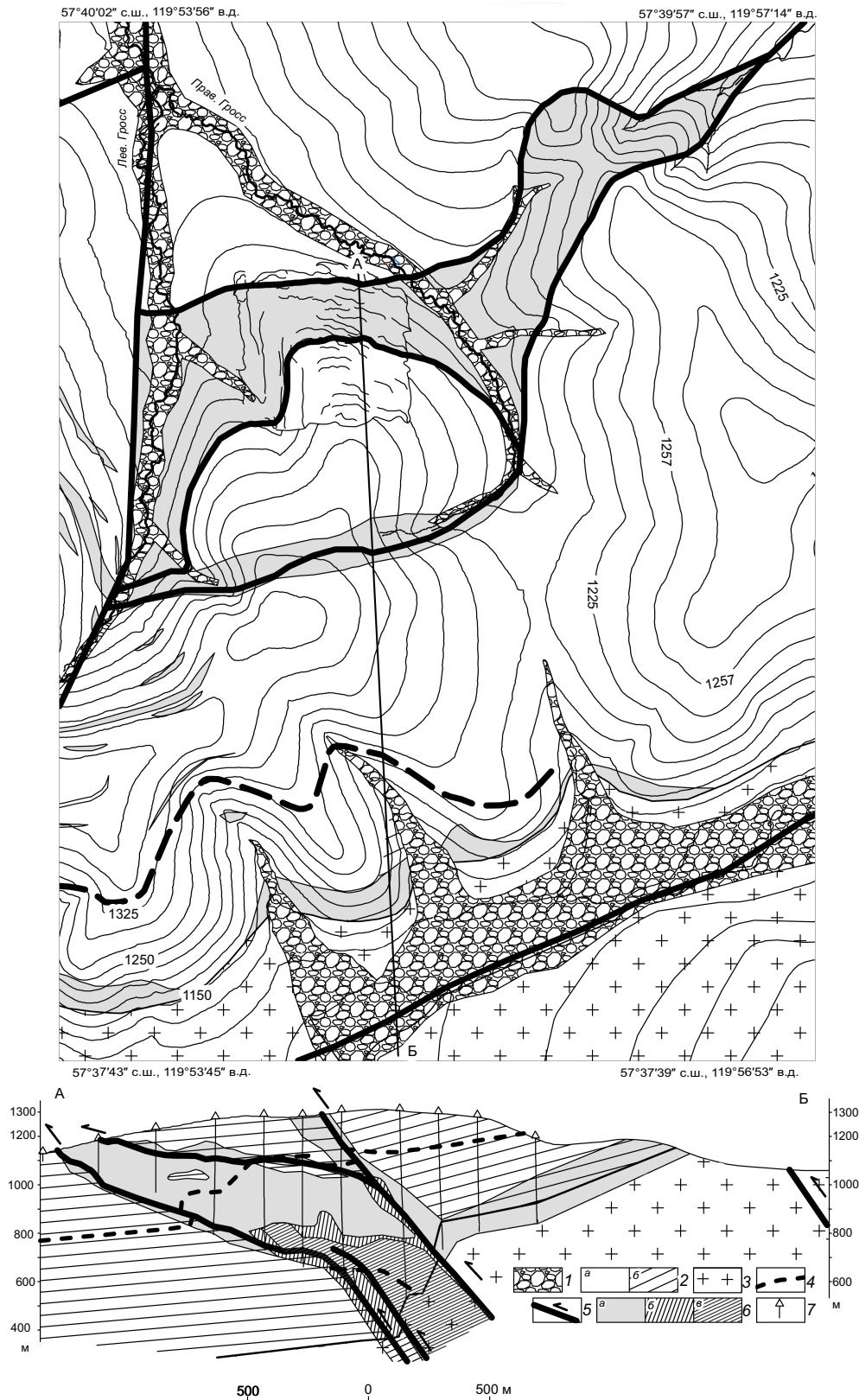


Рис. 6. Геологическая карта и разрез по линии А-Б через центральную часть месторождения Грасс:

1 – четвертичные аллювиальные пески, глины, галечники; 2 – рифейские аркозовые песчаники: а – на карте, б – положение слоистости песчаников на разрезе; 3 – граниты, гранитогнейсы архейского фундамента; 4 – силлы, дайки раннемеловых сиенитов; 5 – главные разломы и направление смещения; б – типы руд: а – окисленные, б – переходные, в – первичные; 7 – скважины на разрезе

песчаниках олонноконской свиты и архейских породах фундамента. Она представляет собой взбросо-надвиговую тектоническую зону чешуйчатого типа, ограниченную двумя надвигами – Верхним и Нижним. В северной и центральной частях месторождения они пологие, субгоризонтальные, часто согласные со слоистостью. В южной части они круто погружаются в южном направлении под углом более 45° и, рассекая слоистость осадочной толщи, проникают в породы архейского фундамента, составляя корневую часть надвига.

Тектоническая пластина, ограниченная Верхним и Нижним надвигами, составляет тело Гроссовского надвига. Внутреннее строение его сложное. Здесь развиты взбросы второго порядка со сместителями, меняющими своё положение от пологих, согласных со слоистостью до круто залегающих, секущих слоистость. Структуры второго порядка не выходят за пределы ограничивающих надвигов. Вдоль плоскостей сместителей взбросов песчаники значительно тектонически переработаны – слои подвёрнуты в соответствии с перемещениями блоков, образуя флексуры, наблюдается интенсивная трещиноватость различных направлений. Флексурные перегибы слоёв (углы падения слоистости 45° – 90°), трасирующие разломы, расположены кулисообразно друг относительно друга, их границы имеют в разрезе линзообразную форму. Они имеют значительную протяжённость (до 700 м) и мощность (до 300 м).

Непосредственно вдоль плоскости сместителя как надвигов, так и взбросов породы бывают брекчироваными, либо милонитизированными. Здесь первичная слоистость песчаников полностью теряется. Мощность зон брекчирования и милонитизации составляет от нескольких сантиметров до нескольких метров.

Границы флексур довольно уверенно устанавливаются при документации и фотодокументации керн вертикальных скважин. Угол ненарушенной слоистости по отношению к оси керн составляет 80° – 70° , а в областях, нарушенных флексурами, он уменьшается до 45° – 0° вплоть до расположения слоистости вдоль оси керн. Такие крутозалегающие участки, отмеченные в каждой отдельной скважине, увязываются с соседними скважинами на геологических разрезах во флексурные зоны. Флексуры имеют рудовмещающее значение. К ним и прилегающим областям приурочены наиболее мощные рудные интервалы.

В пределах тела надвига можно выделить три части: северную, центральную и южную. Северная передовая (фронтальная или лобовая) часть надвига расположена в области выхода зоны на дневную поверхность. Здесь преобладают крутопадающие и субгоризонтальные взбросы, развиты подвороты слоёв вплоть до вертикальных, а возможно, и опрокинутых, не исключено наличие лежащих складок. Это наиболее деформированная часть структуры.

В центральной части ближе к кровле выделяется относительно спокойная область – область послонных надвигов, а ближе к основанию – зона крутой слоистости, приуроченная к Нижнему надвигу.

Южная часть – это область погружения надвигов и перехода к корню надвига, расположенному в архейском фундаменте. Так же как и в северной части здесь отмечаются значительные тектонические деформации и флексуобразные изгибы слоёв.

По смещению границы песчаников и фундамента, а также силла сиенитов установлено, что среднее вертикальное перемещение по Гроссовской взбросо-надвиговой зоне составляет 350–450 м, при этом горизонтальная амплитуда перемещений составляет 600–800 м, истинная – до 1000 м.

Рудоконтролирующая структура месторождения Таборное также представляет собой взбросо-надвиг и сопряжённую с ним прямую субширотную флексуру. Главная рудная зона Таборнинского разлома мощностью от 60 до 200 м и протяжённостью до 450 м на поверхности падает на юг под углом 55° – 70° , выполаживаясь на глубине до 45° – 30° . В приразломной зоне отмечается резкий флексурный перегиб слоёв вплоть до срыва по взбросу, где породы имеют субвертикальные до опрокинутых залегания. Амплитуда взброса варьирует предположительно от 35 до 140 м.

Крутой взброс сопровождается серией мало-мощных и малоамплитудных сопряжённых зон пологозалегающих надвигов, что придаёт ему чешуйчатую внутреннюю структуру.

Многочисленные рудные тела главной рудной зоны локализованы в участках разуплотнения, сформированных при взбросо-надвиговых перемещениях. Они падают на юг-юго-восток под углом 45° – 30° , совпадая с наклоном осевой линии рудовмещающей флексуры.

По результатам аэро-гамма-спектрометрической съёмки (АГСМ) было установлено, что зоны

рудоконтролирующих разломов месторождений Гросс, Таборное и др. рудопоявлений чётко маркируются интенсивными аномалиями К (от 3–6 до 9%) и слабыми аномалиями U ($2,5\text{--}3,2 \times 10^{-4}\%$) и Th ($10\text{--}13 \times 10^{-4}\%$).

Магнитное поле рудной зоны месторождения Гросс спокойное, а месторождения Таборное характеризуется минимумом ΔT .

Оруденение. Все месторождения и проявления «угуйского» типа локализованы в полях распространения калиевых метасоматитов как в Угуйском грабене, так и за его пределами. Главным промышленным минералом на месторождениях этого типа является самородное золото.

Золотое оруденение на месторождении Гросс (2) изучено до глубины 950 м. Рудная зона в целом очень чётко выделяется на поверхности относительно вмещающих красноцветных песчаников по характерной буровато-жёлтой окраске. На стадии поисков она также отчётливо фиксировалась радиометрической съёмкой по радиоактивности, в 2–3 раза превышающей фон, составляющий 6–10 мкр/час. Однако внешне руда с промышленными содержаниями золота неотличима от некондиционных окисленных метасоматитов с содержанием золота 0,0–0,19 г/т. Границы промышленных руд определяются только опробованием и, по утверждённым для месторождения постоянным кондициям, оконтурены по бортовому содержанию 0,4 г/т для балансовых руд и 0,2–0,4 г/т для забалансовых. При изучении месторождения было проведено технологическое картирование, состоящее из фазового минералогического анализа руды (28 технологических проб) и прямого технологического картирования руды методом лабораторных бутл-тестов, моделирующих кучное выщелачивание (около 2 тыс. бутл-тестов). Было установлено, что руда представлена тремя типами: окисленными, переходными и первичными рудами с очень простым минеральным составом (рис. 7).

Окисленные руды занимают 82% от всех промышленных запасов. Они расположены в линейной коре выветривания неполного профиля, имеют мощность от 350 до 500 м и прослежены до глубины 350–500 м. Окисленные руды сложены буровато-жёлтыми лимонитизированными и разуплотнёнными породами, развитыми по первичным золотоносным метасоматитам по аркозовым песчаникам. В них отмечаются редкие тонкие (до 1 мм) кварцевые прожилки с включениями флюорита, барита и карбоната. Рудные минералы

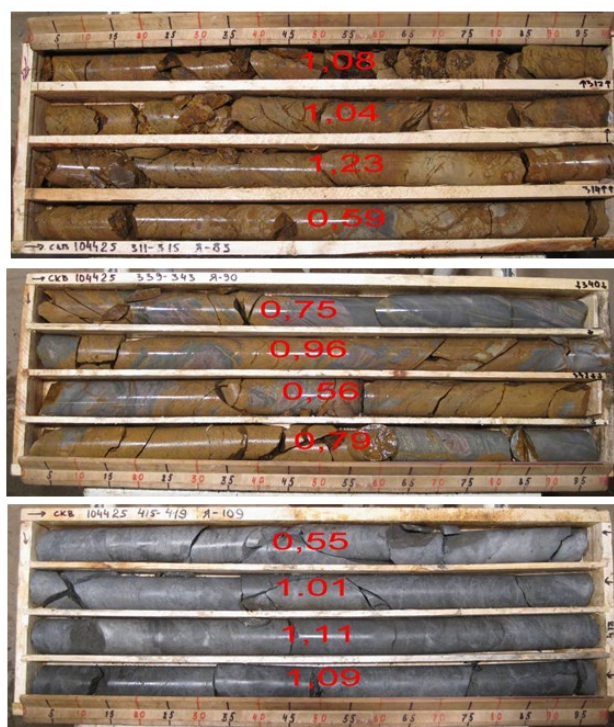


Рис. 7. Типы руд месторождения Гросс, сверху вниз: окисленные, переходные, первичные:

красные цифры – содержания золота в керновых пробах, г/т

представлены равномерно рассеянной по всему объёму породы вкрапленностью гетита, гидрогетита, ярозита, представляющими собой псевдоморфозы по пириту. Редко встречаются неокисленные зёрна пирита и очень редко арсенопирита, халькопирита, галенита, пирротина, марказита, халькозина, борнита, акантита, золота самородного. Размер зёрен золота в среднем не превышает 100 мкм, проба составляет 826–895%. Серебро находится в виде примеси в золоте (12–17%), пирите, редко в собственных минералах серебра: канфильдите, гессите, петците, аргентите. Отношение средних содержаний $Au/Ag=1/4$.

Промышленные запасы золота, оконтуренные по бортовому содержанию 0,4 г/т, имеют среднее содержание золота 0,79 г/т в балансовых рудах и 0,33 г/т в забалансовых, оконтуренных по бортовому содержанию 0,2–0,4 г/т.

Технологические свойства руд: а) высокая (82–92%) извлекаемость золота при кучном выщелачивании; б) аномально высокая динамика процесса выщелачивания за счёт высокой пористости до 13% и проницаемости до 32 м/сутки,

максимум извлечения достигается всего за 14 дней; в) отсутствие вредных для технологии КВ примесей – $S_{\text{орг}}$, глин, вредных металлов. При этом руда не требует агломерации, что даёт возможность без дополнительных затрат рентабельно извлекать золото с содержаниями от 0,3 г/т и размерностью куска от 40 до 170 мм.

Переходные руды отмечаются на глубине от 350 до 400 м и представляют собой неполностью окисленные первичные руды. Фрагменты первичных руд располагаются в них в виде жил, линз, пятен тёмно-серого цвета различной формы. По своим свойствам (химическим, физическим, технологическим), минеральному составу, они занимают промежуточную позицию между окисленными и первичными рудами. Среднее содержание золота в них – 0,79 г/т. Извлекаемость золота цианированием в среднем составляет 65%.

Первичные руды установлены скважинами на глубине свыше 400–500 м и уходят в зоне надвига на глубину более 900 м, проникая в породы архея. Они представлены тёмно-серыми изменёнными породами с редкими наложенными линзами и прожилками кварц-карбонат-барит-флюоритового состава. Основным сульфидным минералом первичных руд является равномерно рассеянный тонко- и микрозернистый золотоносный пирит – до 1%. Среднее содержание золота в первичных рудах составляет 0,91 г/т. Извлекаемость золота цианированием составляет 25%.

В отдельных структурных скважинах, пробуренных до глубины 950 м, установлено, что первичные руды с таким же уровнем содержаний проникают в породы архея. Этот факт означает, что не только осадочные породы рифея, как считалось ранее, но и архейские метаморфические и магматические породы могут быть перспективными для обнаружения месторождений, подобных Таборному и Гроссу, при наличии соответствующей благоприятной тектонической обстановки. Данное утверждение блестяще подтвердилось на рудопроявлении Аномалия-13, где архейские породы в зоне надвига были выведены на поверхность.

Первичные руды принадлежат золотосульфидной формации с убогим содержанием сульфидов, представленных практически одним минералом-носителем золота – пиритом.

Геохимическая характеристика месторождения Гросс, выполненная по одному из буровых профилей методом ICP на 37 элементов с разложением в четырёх кислотах (7444 проб), показыва-

ла, что по первичным ореолам рудные зоны характеризуются значительным привнесом К, Au, Ag, As, V и выносом Ca, Na, Mg, Zr. Вторичные ореолы рассеяния фиксируют рудные зоны аномалиями Au, Ag, As.

Месторождение Таборное (1) по своему геологическому и тектоническому строению, вещественному составу метасоматитов и руд, технологическим свойствам руд, является практически аналогичным месторождению Гросс. Объектом эксплуатации являются окисленные руды, развитые в линейной коре выветривания по зоне Таборнинского взбросо-надвига до глубины 300–350 м от дневной поверхности. Здесь первичные серые калиевые метасоматиты и руды по аркозовым песчаникам подвержены разуплотнению, лимонитизации и пелитизации. Пористость окисленных пород варьирует от 16,65 до 37,13%.

Золото в рудах отмечалось в виде изометричных кристаллов, дендритовидных, комковато-угловатых и пластинчатых микронных выделений, редко в виде зёрен размером от 0,05 до 0,1 мм и микросамородков размером 1 мм. Кристаллы золота кубоктаэдрической и дендрито-комковидной формы, отмечаются сростки золота с кварцем и полевым шпатом.

Уровень содержаний золота такой же, как и на месторождении Гросс. В золоте присутствует примесь серебра от 11,6 до 19,8%, которое извлекается при аффинаже. Отношение средних содержаний $Au/Ag=1/1$. Проба золота варьирует от 700 до 799, составляя в среднем 777‰.

Рудные тела с содержанием золота 0,4 г/т и более представляют собой крупные линзы и ленты мощностью от 5 м до 45 м и общей протяжённостью по простиранию 200–430 м. По падению рудные тела прослежены на 200–250 м, на глубину не оконтурены. Мощность рудных тел довольно выдержана по падению. Границы рудных тел устанавливаются только опробованием.

В первичных рудах основным минералом-концентратом золота является пирит, который в процессе гипергенеза был замещён лимонитом с образованием полных псевдоморфоз, при этом золото, находящееся в пирите в дисперсной форме, высвобождалось в самородном виде.

Для технологических свойств руды характерна: а) высокая (75–92%) извлекаемость Au при кучном выщелачивании; б) аномально высокая динамика процесса выщелачивания за счёт высокой пористости 16–37% и проницаемости до 30–50 м/сут., максимум извлечения достигается всего

за 10 дней; в) отсутствие вредных для технологии КВ примесей – $C_{орг}$, глин, мышьяка и других металлов.

Вблизи от месторождения Таборное (см. рис. 2) выявлены несколько мелких сателлитных месторождений – Тёмное (3) и Высокое (4), имеющих аналогичное Таборному геологическое строение, состав и качество руд. Месторождение Тёмное передано в эксплуатацию, Высокое находится на стадии подготовки к эксплуатации.

Кроме объектов, приуроченных к терригенным отложениям Угуйского грабена, к западу от него обнаружены два рудопоявления в гранито-гнейсах фундамента – Аномалия-13 (5) и Токкинское (6). Зона калиевых метасоматитов здесь сформирована в глубоких, возможно, корневых областях надвига, выведенного на поверхность Токкинским взбросом. Она имеет значительные параметры – протяжённость около 8 км, мощность до 500 м, падение на юг-юго-восток под углом от 0 до 20°. Геофизические, геохимические особенности зоны те же, что и на описанных выше месторождениях. Руды также аналогичны.

Рудопоявление Аномалия-13 приурочено к поздне-архейским метаморфизованным породам фундамента – гранитам, гранито-гнейсам. Протяжённость изученной части рудной зоны по простиранию составляет 1100 м, по падению – от 300 до 600 м. Падение 20° на юг-юго-восток. Вертикальная мощность превышает 150 м, мощности отдельных рудных интервалов достигают 30–40 м при среднем содержании золота 0,8–1,0 г/т. Несмотря на то, что основой метасоматических руд на проявлении являются не песчаники, а граниты и гранито-гнейсы, они по качеству и технологическим свойствам аналогичны рудам месторождений Таборное и Гросс. Извлечение золота по технологии кучного выщелачивания составляет 88% для крупности –40 мм и 81% для крупности –100 мм. Прогнозные ресурсы категории P_1 оцениваются в 30 т золота.

На рудопоявлении Токкинское мощности рудных тел варьируют от 1,5 до 10 м, протяжённость рудных тел по простиранию составляет первые сотни метров, по падению – от 70 до 220 м. Степень изученности рудопоявления Токкинское позволила оценить его по категории P_1 в количестве 2,6 т золота со средним содержанием 0,99 г/т.

В заключение следует отметить, что за последние два десятилетия в юго-западной Якутии в пределах Угуйского грабена выявлена и развез-

дана серия золоторудных месторождений – Таборное, Гросс, Тёмное, Высокое с суммарными защищёнными запасами более 330 т золота и прогнозными ресурсами категории P_1 более 300 т. Самое крупное и наиболее изученное – месторождение Гросс с геологическими запасами золота 265 т, открытое и разведанное Ю.А.Зубковым и др. в течение 2008–2014 гг.

По геологическому строению, вещественному составу и технологическим свойствам руд данные месторождения не имеют полных аналогов в мире [1, 2], в связи с чем выделяются как новый «угуйский» геолого-промышленный тип большеобъёмной золоторудной минерализации с невысокими содержаниями металла.

Руды «угуйского» типа приурочены к зонам чешуйчатых взбросо-надвигов мезозойского возраста, в которых породы катаклазированы, милонитизированы, подвержены калиевому метасоматозу и насыщены тонкой равномерно рассеянной вкрапленностью золотоносного пирита. Мощность оруденелых участков варьирует от 200 до 500 м, протяжённость достигает 2,2 км. Среднее содержание золота, установленное в первичных, переходных и окисленных рудах, составляет 0,7–0,9 г/т.

Характерная особенность месторождений «угуйского» типа заключается в том, что в мощных зонах взбросо-надвигов по метасоматически изменённым пиритизированным породам, предположительно в палеоген-неогеновое время [5], сформировалась линейная кора выветривания неполного профиля, проникающая на глубину до 500 м. Именно в коре выветривания большеобъёмные убогие руды с содержанием золота 0,7–0,9 г/т были преобразованы в промышленные руды, уникальные по своим технологическим свойствам.

Запасы месторождений оконтурены по бортовому содержанию 0,4 г/т для балансовых руд со средним содержанием золота 0,79 г/т, для забалансовых руд принято бортовое содержание 0,2–0,4 г/т при среднем содержании золота 0,33 г/т.

Основная часть руд (82%) представлена одним промышленным типом, уникальным по размерам и технологическим свойствам, – окисленными рудами. Они расположены в многолетнемёрзлых породах, разуплотнены, но не дезинтегрированы, пористость пород в зоне окисления достигает 15–37%, глинистые минералы и другие вредные примеси практически отсутствуют. Извлечение золота методом кучного выщелачивания

на месторождениях Таборное, Гросс и других достигает 82–92%. При этом руда не требует агломерации, что даёт возможность без дополнительных затрат рентабельно извлекать золото с содержаниями от 0,3 г/т и размерностью куска от 40 до 170 мм.

Открытие перспективных рудопроявлений в породах кристаллического фундамента позволило переосмыслить возможность обнаружения месторождений «угуйского» типа вне пород осадочного чехла, то есть вне грабенов, что ранее считалось обязательным условием для их формирования. Поэтому, по-новому проанализировав геологическую ситуацию здесь, можно обнаружить новые золоторудные объекты, подобные месторождениям Гросс и Таборное, и в других районах.

Первоочередными объектами поисков вблизи описанной территории можно считать Кондинский взбросо-надвиг и серию сопровождающих его надвигов к югу от Угуйского грабена, где в породах фундамента возможно обнаружение щелочных магматических образований Алданского комплекса, калиевых метасоматитов и палеоген-неогеновых линейных кор выветривания. Объектами второй очереди должны стать западные ветви регионального Южно-Якутского надвига в районах проявления мезозойского щелочного магматизма.

При поисках подобных золоторудных объектов следует учесть, что большинство рудных тел месторождений и проявлений «угуйского» типа не выходят на дневную поверхность, по внешне-

му виду руды маловыразительны и часто неотличимы от пустых пород, поэтому особое внимание следует обратить на повышенную радиоактивность пород калиевой природы, хорошо фиксируемую методом АГСМ, и геохимические аномалии К, Au, Ag, As, V по вторичным ореолам рассеяния, чётко оконтуривающие золоторудные объекты «угуйского» типа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Константинов М.М.* Золоторудные провинции мира. – М.: Научный мир, 2006.
2. *Константинов М.М., Некрасов Е.М., Сидоров А.А., Стружков С.Ф.* Золоторудные гиганты России и мира. – М.: Научный мир, 2000.
3. *Коржинский Д.С.* Основы метасоматизма и метамагматизма. Избранные труды. – М.: Наука, 1993.
4. *Миронюк Е.П.* Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 Лист О-50, (51). Алдан. – СПб.: ВСЕГЕИ, 1998.
5. *Нестеров Н.В.* Гипергенное обогащение золоторудных месторождений Северо-Востока Азии. – Новосибирск: Наука, 1985.
6. *Омельяненко Б.И.* Околорудные гидротермальные изменения пород. – М.: Недра, 1978.
7. *Плющев Е.В., Ушкков О.П., Шатов В.В., Беляев Г.М.* Методика изучения гидротермально-метасоматических образований. – Л.: Недра, 1981.

REFERENCES

1. *Konstantinov M.M.* Zolotorudnye provintsii mira [Gold mining provinces of the world]. Moscow, Nauchnyi mir publ., 2006.
2. *Konstantinov M.M., Nekrasov E.M., Sidorov A.A., Struzhkov S.F.* Zolotorudnye giganty Rossii i mira [Gold mining giants of Russia and the world]. Moscow, Nauchnyi mir publ., 2000.
3. *Korzhinskii D.S.* Osnovy metasomatizma i metamagmatizma. Izbrannye trudy [Fundamentals of metasomatism and metamagmatism. Selected works]. Moscow, Nauka publ., 1993.
4. *Mironyuk E.P.* Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiiskoi Federatsii. Masshtab 1:1 000 000 List O-50, (51) [State geological map of the Russian Federation. Scale 1:1,000,000 Sheet O-50, (51)] Aldan. Saint-Petersburg VSEGEI publ., 1998.
5. *Nesterov N.V.* Gipergennoe obogashchenie zolotorudnykh mestorozhdenii Severo-Vostoka Azii [Hypergenic enrichment of gold deposits in North-East Asia]. Novosibirsk, Nauka publ., 1985.
6. *Omel'yanenko B.I.* Okolorudnye gidrotermal'nye izmeneniya porod [Near-ore hydrothermal changes in rocks]. Moscow, Nedra publ., 1978.
7. *Plyushchev E.V., Ushkkov O.P., Shatov V.V., Belyaev G.M.* Metodika izucheniya gidrotermal'no-metasomaticheskikh obrazovaniy [The methodology for the study of hydrothermal-metasomatic formations]. Leningrad, Nedra publ., 1981.

Требования к оформлению рисунков

Рисунки и другие графические материалы (не более 8) представляются в цветном или черно-белом варианте в электронном виде. Размер оригиналов рисунков не должен превышать формата страницы журнала (170x237 мм). Каждый рисунок помещается в отдельный файл в одном из следующих форматов: графический редактор Corel Draw, JPEG, TIFF (только для фото), диаграмма Microsoft Excel. Графика должна быть прямо связана с текстом и способствовать его сокращению. Оформление и содержание иллюстративного материала должны обеспечивать его читаемость после возможного уменьшения. Ксерокопии и сканированные ксерокопии не принимаются. Подрисуночные подписи печатаются на отдельной странице. Рисунки, не удовлетворяющие требованиям редакции, возвращаются автору.

Перспективы алмазности Лено-Анабарского междуречья севера Якутской алмазной провинции

А.М.ХМЕЛЬКОВ, Э.А.ВЛАСОВА (Вилуйская геологоразведочная экспедиция АК «АЛРОСА» (ПАО); 678170, Республика Саха (Якутия), г. Мирный, ул. Ленина, 6)

Выполнен обзор и анализ поисковых обстановок отдельных площадей Лено-Анабарского междуречья Якутской алмазной провинции. Оценены перспективы данной территории на коренную и россыпную алмазность. Высказаны некоторые рекомендации по направлению дальнейших работ в этом районе. Настоящая работа может оказать практическую помощь специалистам, занятым поисками и прогнозом алмазных месторождений в пределах севера провинции.

Ключевые слова: алмазы, россыпи, коллектор, минералы-индикаторы кимберлита, ореол, парагенезис.

Хмельков Александр Михайлович
кандидат геолого-минералогических наук



st_56@mail.ru

Власова Эльвира Александровна

KulaninaEA@alrosa.ru

Prospects of diamondiferousness Lena-Anabar interfluvium of north the Yakutian diamondiferous province

A.M.KHMEVKOV, E.A.VLASOVA (ALROSA (PJSC); Vilyuiskaya geological expedition)

A review and analysis of the search conditions individual areas Lena-Anabar interfluvium of the Yakutian diamondiferous province is carried out. Prospects of this territory for primary and placer diamondiferous are estimated. Some recommendations were made for further work in this region. This work can provide practical assistance to specialists engaged in the search and forecasting of diamond deposits within north of the province.

Key words: diamonds, placers, collector, kimberlite tracer minerals, halo, paragenesis.

Вопрос перспективности Лено-Анабарского междуречья (см. рисунок) на коренную алмазность актуален до сегодняшнего дня и будет волновать исследователей до тех пор, пока не решится проблема коренных источников россыпных алмазов северо-востока Сибирской платформы. Здесь известны многочисленные россыпи и россыпепроявления с повышенными содержаниями алмазов, достигающими 1–3 кар/м³, а в отдельных точках до 7–10 кар/м³ и более. Несмотря на многолетние усилия, коренные источники россыпных алмазов в данном районе до сих пор так и не обнаружены. Для россыпей Лено-Анабарского междуречья характерны алмазы так называемого «эбеляхского» («нижне-ленского» или «северного») типа [5, 7], представленные преимущественно типично округлыми додекаэдрами I разновидности с повышенным содержа-

нием кристаллов V–VII и II разновидностей [12]. По ряду своих типоморфных особенностей алмазы «эбеляхского» типа из россыпей Лено-Анабарского междуречья не соответствуют алмазам из известных кимберлитов Якутской алмазной провинции (ЯАП) [2]. Среди водотоков с повышенным содержанием алмазов, помимо рек с промышленными россыпями Анабарского алмазносного района, следует отметить такие как Молодо, Келимер, Уджа, Усунку, Улахан-Юеттээх и некоторые другие.

В период с 2007 по 2009 гг. сотрудниками Амакинской ГРЭ АК «АЛРОСА» проводились прогнозно-минерагенические исследования в бассейне нижнего течения р. Оленёк, включая непосредственно побережье моря Лаптевых. В процессе данных работ получены результаты, позволяющие по-новому оценить перспективы алмазности

окраинных территорий Сибирской платформы и выработать некоторые рекомендации по направлению дальнейших алмазопоисковых работ в пределах Лено-Анабарского прогиба и его ближайшего окружения. По результатам данных работ на левобережье нижнего течения р. Оленёк спрогнозировано новое Улахан-Юрэгское кимберлитовое поле (см. рисунок) среднемезозойского возраста (J_3-K_1) [18]. Установлена широкая проявленность алмазоносности в современном аллювии водотоков, в том числе в местах, казалось бы, крайне неблагоприятных для россыпобразования, – в поле сплошного развития перекрывающих толщ мелового возраста. При этом алмазоносность целого ряда водотоков установлена впервые, по некоторым из них алмазы присутствуют в повышенных концентрациях, достигающих 3–4 кар/м³ (р. Хастах). Полученные положительные результаты ставят вопрос о необходимости нового подхода и современной оценки перспектив коренной и россыпной алмазоносности обширных территорий Лено-Анабарского междуречья, включая плечевые зоны Лено-Анабарского и Приверхоянского прогибов. Приоритетными для исследований являются территории в пределах границ смены разновозрастных отложений, особенно на стыке отложений триас–юра и юра–мел на всём отрезке от Анабарского щита до Приверхоянского прогиба, включая отдельные территории последнего. Представляется, что данные исследования должны первоначально нести геолого-минерагеническую и ревизионно-поисковую направленность. Оценка перспектив территории должна включать и анализ обширных площадей на предмет проявления продуктивного «молодого» (мезозойского) кимберлитового магматизма (T_{2-3} и J_3-K_1 возрастов) в пределах плечевых зон Лено-Анабарского прогиба, особенно на стыке отложений T_2-T_3 , T_3-J_1 и J_3-K_1 . Имеющиеся данные по алмазоносности кимберлитов различного возраста и мезозойским вторичным коллекторам алмаза северо-востока Сибирской платформы свидетельствуют в пользу того, что алмазоносными могут быть не только среднепалеозойские кимберлитовые трубки, но и мезозойские тела. Однако на сегодня все алмазопоисковые работы в пределах ЯАП направлены практически исключительно на поиски продуктивного кимберлитового магматизма среднепалеозойского возраста как единственно возможной промышленно алмазоносной эпохи. При этом существенная доля в мировой добыче

алмазов из коренных источников связана именно с мезозойскими кимберлитами (по оценкам, до 70–80%).

Вопрос проведения алмазопоисковых работ на площадях развития мезозойских отложений, включая территории развития отложений как юрского, так и мелового возраста, приобретает всё большую актуальность. Центральные части Лено-Анабарского прогиба требуют более качественной оценки их перспектив на россыпную алмазоносность. Это касается всех относительно крупных водотоков в пределах прогиба. Данные территории являются слабоизученными. С планомерными поисковыми работами в эти районы в последние десятилетия не выходили, считая их малоперспективными, так как большая часть данных обширных площадей является перекрытой по отношению к кимберлитовому магматизму любого возраста, достоверно установленного в пределах Сибирской платформы. По результатам поисковых и тематических работ прошлого столетия в пределах Лено-Анабарского прогиба просматривается любопытная закономерность. Повышенные концентрации кимберлитовых минералов и алмазов в современной гидросети встречаются начиная от границы отложений юры и нижнего мела и далее непосредственно в пределах последних. Такие участки с повышенными концентрациями МИК отмечаются по правым притокам р. Уджа (реки Чюемпе-Юряге, Бижир и др.), в верховьях р. Уеле (реки Кангаласс-Уеле, Арах-Билире и др.), в бассейне р. Салга, в верхнем течении р. Буолкалах (Лено-Анабарский прогиб), а также в бассейнах р. Эйкеит и верхнего течения р. Элитийэ (Приверхоянский прогиб). К сожалению, качественные характеристики кимберлитовых минералов, включая их сохранность по шкале износа первичных поверхностей [16, 17], не изучались, поэтому спрогнозировать степень их удаления от коренных источников не представляется возможным.

Вероятно, что в настоящее время мы не всё знаем о приоритетных эпохах проявления кимберлитового магматизма в пределах ЯАП. Вполне возможно, что в пределах её окраинных частей могут быть ещё не выявленные мезозойские кимберлитовые поля «нестандартного» возраста. Анализ геолого-поисковой обстановки в пределах прогнозируемого Улахан-Юрэгского кимберлитового поля [18] позволяет предположить, что кимберлиты в пределах выделенной высокоперспективной площади могут или прорывать

отложения буолкалахской свиты и перекрываются осадками кигиляхской свиты нижнего мела, содержащими минералы прямого сноса, или же занимать положение непосредственно в разрезе кигиляхской свиты, перекрываясь осадками аналогичного возраста с МИК прямого сноса в верхней части разреза свиты. Вполне вероятно, что в разрезе нижнемеловых отложений в пределах плечевых зон Лено-Анабарского прогиба имеются промежуточные коллекторы, содержащие не только первичные ореолы МИК ближнего сноса, которые дренируются современной гидросетью, но и повышенные концентрации алмазов. Поэтому нельзя исключать вероятность обнаружения достаточно богатых россыпей в пределах современных границ краевых прогибов, аналогичных россыпям бассейна р. Эбелях.

Особое внимание при дальнейших исследованиях в пределах Лено-Анабарского междуречья должно быть уделено территориям, непосредственно примыкающим к прогнозируемому Улахан-Юрэгскому полю (см. рисунок), где выделены перспективные недостаточно изученные площади [18]. Одна из этих территорий охватывает площадь от р. Буолкалах на востоке до р. Анабар на западе и от истоков р. Буолкалах и правых притоков р. Уджа на юге (ориентировочно $71^{\circ}20'$) до Анабарской губы и побережья моря Лаптевых (мыс Мусс-Хая) на севере. Здесь распространены алмазоносные промежуточные коллекторы поздне триасового возраста (карнийский коллектор). В пределах данной обширной территории в процессе геолого-минерагенических исследований необходимо провести тщательный анализ поисковых обстановок с глубоким осмыслением всех ранее полученных результатов. На основе детальных исследований минерального вещества с помощью современного аналитического оборудования и качественного информационно-генетического анализа химических составов МИК можно будет сделать более достоверную прогнозную оценку территории с выделением локальных площадей, перспективных для дальнейших исследований.

Как уже отмечалось, россыпные алмазы северо-востока Сибирской платформы представлены преимущественно додекаэдроидными I разновидности, по Ю.Л. Орлову [12], (типичные округлые алмазы «бразильского» типа) и кристаллами V–VII разновидностей, в совокупности образующими ассоциацию алмазов «эбеляхского» типа. Алмазы V–VII разновидностей с аномально лёгким изотопным составом углерода характерны только

для северной части ЯАП и в других регионах Мира не встречаются. Эндемичность алмазов V–VII разновидностей свидетельствует в пользу их «местных» коренных источников, несмотря на то, что их интенсивные поиски на протяжении многих лет, к сожалению, так и не привели к желаемому результату. Из многочисленных литературных данных и отчётных материалов известно, что среди «северной» ассоциации алмазов присутствуют кристаллы как ультраосновного, так и эцлогитового парагенезиса, причём последний тип преобладает. Характерно, что практически все опубликованные данные именно по алмазам V–VII разновидностей свидетельствуют об эцлогитовом типе алмазообразующего субстрата. Однако эти особенности не противоречат их возможной связи с наиболее типичными коренными источниками – кимберлитами. На основании выявления аномально лёгкого изотопного состава углерода для большинства алмазов эцлогитового парагенезиса севера ЯАП высказывается гипотеза об их образовании за счёт субдукции вулканогенно-осадочных пород земной коры [10]. Примечательно, что минералы-индикаторы кимберлитов, в изобилии присутствующие в россыпях северо-восточной части ЯАП, не показывают, по минералогическому критерию Н.В. Соболева [13], перспектив алмазоносности их коренных источников – в большинстве случаев здесь практически отсутствуют зёрна алмазной ассоциации среди перидотитовых гранатов. Поэтому, выходя с работами на алмазы в северную часть ЯАП, хотим мы или нет, но придётся заниматься, в том числе, и проблемой алмазов V–VII разновидностей, широко распространённых на всём междуречье от Лены до Анабара, несмотря на их низкую экономическую привлекательность. Однако при этом следует учитывать то, что, помимо повышенного содержания дефектных кристаллов V–VII разновидностей (32,2–57,2%), так называемая «эбеляхская» или «нижне-ленская» ассоциация алмазов содержит весомую долю типично округлых алмазов «уральского» («бразильского») типа (от 24,4 до 60%), среди которых, как правило, большой процент ювелирных камней высокой стоимости. В качестве примера можно привести кимберлиты Архангельской провинции, в которых большинство алмазов представлены округлыми камнями при содержании V–VII разновидностей до 18–20%, которые хотя и отличаются от якутских россыпных алмазов по изотопному составу углерода, но, тем не менее, на долю

ювелирных камней в общей массе приходится более 60% алмазов. Поэтому, решая проблему коренных источников алмазов V–VII разновидностей, безусловно, удастся продвинуться и в решении проблемы округлых алмазов «бразильского» типа.

По мнению некоторых исследователей [8], отмечается идентичность алмазов V–VII разновидностей и типичных округлых алмазов I разновидности по комплексу морфологических, структурных, физических особенностей, изотопному составу углерода, характеру распределения в россыпях. Этим обосновывается, учитывая отсутствие данных алмазов в известных кимберлитовых телах, их принадлежность к одной генетической группе – из неизвестного типа коренных источников [1, 2]. Факты «родства» V и VII разновидностей с ювелирными кристаллами I разновидности, их совместная распространённость в россыпях и большой средний вес последних являются дополнительным обоснованием рентабельности и целесообразности продолжения поисков их коренных источников.

В настоящее время среди исследователей не существует единого мнения не только по генезису и возрасту алмазов «нижне-ленского» («эбеляхского») типа, но и по предполагаемому местонахождению их коренных источников. При их широком распространении от Лены до Анабара в нижнем течении р. Лена алмазы «нижне-ленского» типа, в отличие от эбеляхских россыпей, практически не несут признаков механического износа, особенно в поздне триасовом коллекторе. В этой связи высказываются предположения о том, что коренные источники алмазов V–VII разновидностей расположены в бассейне нижнего течения р. Лена [5], в том числе ответственные и за эбеляхские россыпи. Хотя меньший износ «ленских» алмазов по сравнению с «эбеляхскими» может быть обусловлен тем, что в нижнем течении р. Лена докембрийские толщи, с размывом которых отдельные исследователи связывают данные алмазы [2], были выведены на поверхность значительно позже. В бассейне р. Эбелях докембрийские источники алмазов могли вскрыться несколько раньше, в результате алмазы успели пройти через большее количество промежуточных коллекторов, приобретая и больший износ. Безусловно, данный вопрос требует выяснения. Однако по целому ряду факторов бассейны нижних течений рек Лена и Оленёк выглядят более предпочтительно по сравнению

с бассейном р. Эбелях. Для алмазов в бассейне нижнего течения р. Лена характерны отсутствие признаков износа, слабое ожелезнение камней, низкий средний вес кристаллов из верхнетриасовых отложений, присутствие среди пиропов перидотитового парагенезиса зёрен алмазной ассоциации (от 3 до 25%), повышенная алмазоносность базальных слоёв карнийских отложений (от 1 до 14 кар/м³) при отсутствии на гранатах признаков морского износа [14]. Всё это может указывать на относительную близость коренных источников.

По поводу возраста коренных источников алмазов «нижне-ленского» типа также существует несколько мнений. Некоторые исследователи настаивают на триасовом возрасте этих коренных источников, основываясь на том, что наиболее древним коллектором с данными алмазами являются прибрежно-морские осадки карнийского яруса позднего триаса [3]. В более молодых осадках данные алмазы присутствуют практически во всех возрастных и генетических типах отложений. По мнению других исследователей, возраст алмазов «нижне-ленского» типа докембрийский [1, 2, 5, 6], учитывая присутствие в данной ассоциации повышенного содержания типично округлых разновидностей «бразильского» типа с набором признаков древности. При этом отсутствие алмазов данного типа в допоздне триасовых коллекторах объясняется тем, что породы докембрия были выведены на поверхность лишь в мезозойское время, с которого и осуществлялся их размыв. Не вступая в дискуссию относительно проблемы возраста алмазов «нижне-ленского» типа, стоит только отметить, что нельзя исключать и среднепалеозойский возраст первоисточников данных алмазов, по аналогии с кимберлитами Архангельской провинции, имеющими схожую ассоциацию алмазов. В пользу данного предположения свидетельствует и тот факт, что в триасовых отложениях отмечаются повышенные содержания зёрен алмазной ассоциации [14] среди пиропов ультраосновного парагенезиса, по крайней мере, по сравнению с сопредельными территориями. Так, в Нижнеленском алмазоносном районе (см. рисунок) пиропы из карнийских отложений содержат 3–4% алмазной ассоциации. Однако аномальные значения зафиксированы в устье р. Оленёк (мыс Тумул, горы Карангаты и Туор-Хая), где их количество составляет 25% от общего числа гранатов. В аллювии р. Лена, напротив р. Булкур, процент

таких гранатов составляет 13,4%. При этом содержание хрома в гранатах из карнийских отложений достигает 11 мас.% Cr_2O_3 и более [4]. Данные специфические особенности состава гранатов, включая повышенные содержания хрома, превышающие 10 мас.% Cr_2O_3 , наиболее присущи разностям из среднепалеозойских кимберлитов промышленно-алмазоносных районов центральной части ЯАП и нехарактерны для гранатов из мезозойских кимберлитов вообще и из триасовых, в частности. По мнению А.А.Константиновского [9], граница Сибирской платформы до начала мезозоя пролегла восточнее современных границ вплоть до Хараулахского поднятия. На месте Ленского отрезка Приверхоянского прогиба (см. рисунок) располагался крупный массив, который позже был вовлечён в мезозойскую складчатость. В пользу этого свидетельствует и тот факт, что западный фланг Туорасисского поднятия граничит с краевым прогибом не в виде надвига, а по крутому взбросу-сдвигу, что подтверждает предположение о существовании под чехлом прогиба жёсткого блока (трогового комплекса). Поэтому нельзя исключить тот факт, что на восточной окраине Сибирской платформы в фанерозое (а возможно и ранее) могло произойти внедрение алмазоносных кимберлитов на жёстком платформенном основании.

Если предположить дофанерозойский возраст источников алмазов «нижне-ленского» типа, то они могут быть связаны с ближайшими выходами докембрийского фундамента. С такими, например, как Сололийское или Хараулахское поднятия (см. рисунок), включая Чукуровский выступ на правом берегу р. Лена и горы Туорасис. В карнийских отложениях отмечается наличие повышенного количества кварцевого материала сравнительно низкой степени окатанности, что свидетельствует об участии в формировании данного коллектора крупных источников кварца, сложенных породами глубинных фаций метаморфизма, сопровождающих проявления кислого магматизма. Вполне вероятно, что поступление кварца осуществлялось не из промежуточных коллекторов, а непосредственно из «кварцпроизводящих» источников, которые располагались в пределах выходов кристаллических пород. В этой связи при планировании дальнейших работ необходимо обратить внимание на районы этих поднятий, включая открытые площади Сололийского поднятия. Несмотря

на достаточно хорошую изученность территорий в пределах отмеченных поднятий, в этих районах есть несколько перспективных участков, требующих дополнительных исследований. Среди таких участков в первую очередь следует отметить истоки р. Дебенгдэ, где необходимо выяснить генезис хромитов алмазной ассоциации, присутствующих, в том числе, среди зёрен хорошей сохранности. Принципиально важно знать, являются ли источниками данных хромшпинелидов традиционные кимберлиты или они относятся к так называемому «курунгскому» типу некимберлитового генезиса. В качестве другого перспективного участка следует отметить бассейн верхнего течения р. Элитибийэ, где отмечается вспышка неизношенных МИК, среди которых доминируют крупные зёрна. Среди гранатов на долю зёрен из класса $-4+1$ мм здесь приходится 69%. Среди пикроильменитов доля класса $-4+1$ мм достигает 70%. Содержание пиропов I класса сохранности составляет 21%, при этом процент зёрен алмажной ассоциации, по критерию Н.В.Соболева [13], не превышает 0,45%. Количество пикроильменитов I класса сохранности в отдельных точках данного участка достигает 37%.

Особое внимание следует обратить на тот факт, что при проведении работ в северной части ЯАП большинство предшественников недостаточно изучали морфологию и состав гранатов эклогитового парагенезиса. Предпочтение отдавалось пиропам ультраосновного парагенезиса, среди которых зёрна алмажной ассоциации, по критерию Н.В.Соболева [13], по всему северо-востоку Сибирской платформы, за редким исключением, или полностью отсутствуют, или представлены единичными зёрнами. Оранжевые же гранаты пироп-альмандинового ряда или не изучались вообще, или составы их выбраковывались из выборок по высокому содержанию железа, связывая данные гранаты исключительно с метаморфическими породами фундамента. В результате чего сведения по эклогитовым гранатам на большей части севера ЯАП на сегодня отсутствуют. Это тем более странно, если учитывать, что не только в подавляющей массе алмазов V–VII разновидностей, но и в значительной части кристаллов I разновидности включения здесь представлены именно эклогитовым парагенезисом (гроссуляр+пироксен+коэсит). По этой причине все выполненные ранее прогнозные построения относительно перспектив коренной алмазоносности

северных территорий ЯАП на основе минералогических критериев без учёта МИК эцлогитового парагенезиса не могут считаться достоверными. Данное обстоятельство требует проведения ревизии всех имеющихся микрозондовых (рентгеноспектральных) анализов по составу МИК севера ЯАП с целью определения представительности и пригодности данных составов для дальнейшей обработки и детального информационно-генетического анализа. Представительность предполагает достаточное количество анализов и присутствие среди проанализированных гранатов зёрен пироп-альмандинового ряда. Пригодность для дальнейшей обработки подразумевает наличие полных анализов как минимум на 9 элементов, включая Mn, Ti и Na. Участки, где имеются непредставительные или частичные анализы, следует рекомендовать для набора представительных партий МИК, включая не только гранат, но и клинопироксен, а также другие минералы, с целью их полного детального анализа с использованием современной аппаратуры и методов, в том числе проведение микрорентгеноспектрального анализа на все элементы.

Необходимо отметить и то, что в пределах Лено-Анабарского междуречья имеются площади, опоискованные до 1974 г., когда шкала сохранности первичных поверхностей на МИК [16] ещё не была широко внедрена в практику алмазопосковок работ. В этой связи площади, опоискованные до 1974 г., подлежат безусловному ревизионному опоискованию в первую очередь. В частности, такие площади имеются на правом берегу р. Хорбусуонка в её среднем течении, в верхнем течении р. Таас-Эйекит, по левобережью р. Лена на отрезке между реками Булун и Булкур и др. В качестве площадей второй очереди, подлежащих ревизионному опоискованию, рассматриваются территории, опоискованные в период с 1974 по 1980 гг., когда имелись определённые сложности в диагностике поверхностей на МИК по шкале сохранности на начальном этапе исследований микроморфологии МИК.

Значительные территории севера ЯАП, перекрытые чехлом юрских и нижнемеловых осадков, также плохо изучены на предмет сохранности первичных поверхностей МИК. В пределах площадей развития отложений нижней–средней юры ревизионное опоискование может быть оправдано с целью возможного обнаружения минералов хорошей сохранности, являющихся продуктами разрушения позднеюрского кимберлитового

магматизма, а в пределах развития пород нижнего мела – на предмет оценки перспектив россыпной алмазности раннемеловых осадков, учитывая то, что единичные находки алмазов в континентальных отложениях данного возраста известны на северо-востоке Сибирской платформы [11].

При планировании дальнейших работ в пределах Лено-Анабарского междуречья не должно смущать то обстоятельство, что отдельные площади данной обширной территории расположены за пределами древней консолидированной коры архейских кратонов. Дело в том, что доля алмазов эцлогитового парагенезиса обычно возрастает в кимберлитах (лампроитах), как раз расположенных либо на периферийных частях древних кратонов, либо в пределах древних мобильных зон. В последнее время всё больше мнений высказывается в пользу образования мантийных эцлогитов в результате коллизии древних террейнов. Если перидотитовые алмазы коррелируются с архейской стабилизацией континентальной мантии, то образование эцлогитовых алмазов – результат тектоно-термальных переработок литосферы в протерозойское время. Эти тектоно-термальные процессы могли разогреть литосферу, изменив её состав главным образом за счёт метасоматоза, и добавить новые «партии» алмазов к уже существовавшей обширной алмазной генерации архея. Другими словами, древний корень мог сохраниться вместе с первичными перидотитовыми алмазами, который позже был ещё дополнен эцлогитовыми алмазами протерозоя. Таким образом, переработка литосферы при определённых условиях может играть конструктивную роль в плане алмазообразования. В связи с изложенным нельзя исключать того, что источники алмазов «нижне-ленского» типа расположены как раз в более молодых по отношению к архейским блокам подвижных поясах.

На фоне площадного распространения алмазов «северного» типа ореол рассеяния алмазов «кютюнгинского» типа, имеющий относительно локальное распространение в районе верхнего течения р. Молодо и Молодо-Оленёкского водораздела, выглядит яркой минералогической аномалией (см. рисунок). Решение проблемы коренных источников «кютюнгинских» алмазов требует особого осмысления и отдельного подхода с целенаправленными работами. Попутно и быстро проблему «кютюнгинских» алмазов не решить. После каждого этапа проведённых исследований

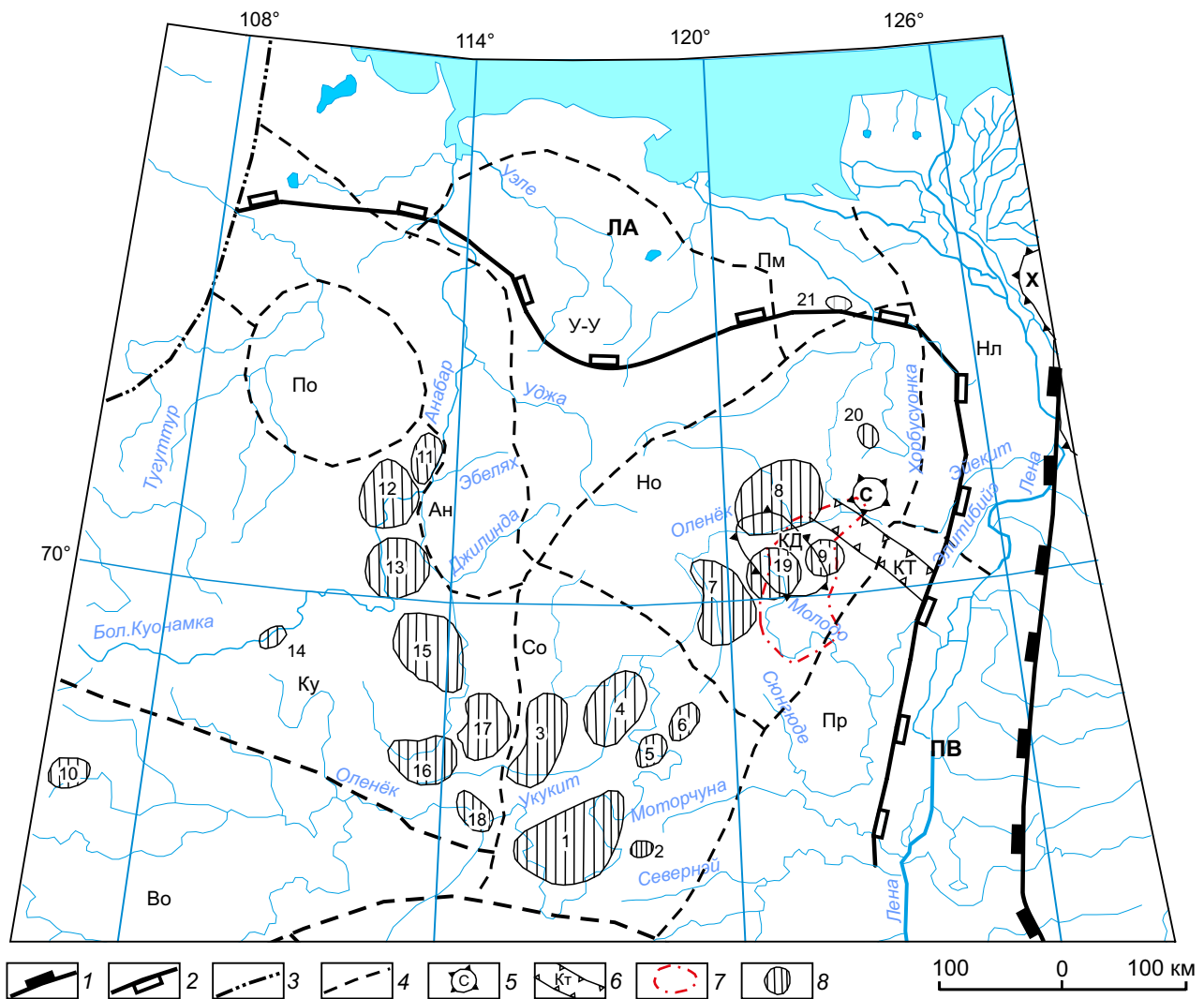


Схема районирования Лено-Анабарского междуречья с элементами структур:

1 – современная граница Сибирской платформы; 2 – прогибы (ЛА – Лено-Анабарский, ПВ – Приверхоанский); 3–4 – граница: 3 – Якутской алмазонасной провинции и 4 – между алмазонасными районами (Во – Верхнеоленьский, Ку – Куонамский, Ан – Анабарский, По – Попигаийский, Пр – Приленский, Со – Среднеоленьский, Но – Нижнеоленьский, У-У – Уэле-Уджинский, Пм – Приморский, Нл – Нижнеленский); 5 – поднятия: С – Сололийское, КД – Куойкско-Далдыньское, Х – Хараулахское; 6 – Кютюнгинский грабен (КТ); 7 – ореол рассеяния алмазов «кютюнгинского» типа; 8 – кимберлитовые поля, их названия: 1 – Чомурдахское, 2 – Севернэйское, 3 – Западно-Укукитское, 4 – Восточно-Укукитское, 5 – Огонерское, 6 – Верхне-Моторчунское, 7 – Мерчимденское, 8 – Бенчимэ-Куойкское, 9 – Толуопское, 10 – Харамайское, 11 – Орто-Ыаргинское, 12 – Старореченское, 13 – Ары-Мастахское, 14 – Верхне-Куонапское, 15 – Дюкенское, 16 – Лучаканское, 17 – Куранахское, 18 – Усть-Силигирское, 19 – Молодинское, 20 – Хорбусунское, 21 – Улахан-Юрэгское прогнозируемое

всё труднее и труднее обосновывать последующие исследования в этом районе. Очередной выход с работами в данный район должен рассматриваться как последний. Поэтому проблемой «кютюнгинских» алмазов необходимо заниматься детально и целенаправленно. Предварительно следует провести тщательный и критический анализ всех

ранее выполненных исследований в районе Кютюнгинского грабена, определить с недостатками при проведении предшествующих работ, выбрать наиболее перспективные участки и оптимальные методики, виды и специализацию дальнейших изысканий в их пределах. Таким образом, представляется, что и в данном районе новые

исследования первоначально должны нести тематическую (ревизионно-минерагеническую) направленность.

Поиски коренных месторождений алмазов «кютюнгинского» типа в пределах Молодо-Оленёкского междуречья ведутся более 50 лет. При, казалось бы, несомненной перспективности данного района открытие коренных месторождений алмазов здесь неоправданно затянулось. Предварительный общий анализ изученности территории и богатого фактического материала свидетельствует о том, что вероятность обнаружения высокоалмазоносных трубок в данном районе на открытых площадях и участках, перекрытых отложениями незначительной мощности, ничтожно мала. Все перспективы на сегодня связываются лишь с площадями, перекрытыми толщей пермо-карбона и породами трапповой формации со сложными геолого-поисковыми обстановками, в пределах которых производство поисковых работ представляет невероятную сложность. Ореолы, содержащие в повышенных концентрациях алмазы и кимберлитовые минералы, имеют преимущественно прибрежно-морской генезис с предельно изношенной минеральной ассоциацией. При этом распространённые здесь породы трапповой формации нередко залегают непосредственно на кимберлитовмещающем цоколе (V геотип). Поэтому ожидать в данном районе открытия месторождений алмазов в ближайшее время слишком оптимистично. На сегодняшний день в мире пока ещё не открыто ни одного коренного месторождения алмазов по прибрежно-морским ореолам. Значит ли это, что не следует даже пытаться вести поиски в таких сложных районах? Это было бы неправильно, несмотря на отсутствие в настоящее время сколько-либо приемлемой методики поисков месторождений алмазов по прибрежно-морским ореолам. Искать, безусловно, нужно и в таких сложных районах, но если выходить в этот район, то основательно и надолго. При этом работы следует вести продуманно, с соблюдением стадийности. А нарушение стадийности работ и недостаточное их финансирование могут негативно сказаться на поисковых работах в целом. При этом важно понять, что поисковое бурение в корне отличается от разведочного. Если разведочное бурение – чисто технологический процесс, основной задачей которого является подсечение контактов и обеспечение выхода керна для подсчёта запасов, что, в принципе, может выполнить любая организация, то поисковое бурение –

это процесс творчески-интеллектуальный, требующий высокой квалификации специалистов, при котором обеспечение качества работ ещё не гарантия успеха.

В настоящее время территория Молодо-Оленёкского междуречья изучена достаточно хорошо, и объективно проведена оценка перспектив коренной алмазоносности. Здесь выполнены поисковые, поисково-оценочные и разведочные работы, в процессе которых открыта и разведана промышленная россыпь «Молодо». Ряд россыпей («Кривун», «Молодо-Бюк», «Молодо-Горное», «Чорбох», «Далдын», «Брас», «Верхнее Молодо», «Среднее Молодо») имеет близкие к промышленным содержания. В пределах Бенчимэ-Куойкского, Молодинского, Толуопского, Мерчимденского и Верхне-Моторчунского кимберлитовых полей (см. рисунок) известно более двух сотен кимберлитовых тел. Однако лишь в единичных трубках как среднепалеозойского, так и мезозойского возраста установлена бедная алмазоносность. Наиболее ярким представителем среди среднепалеозойских тел является трубка Аэрогеологическая в пределах Верхне-Моторчунского кимберлитового поля со средним содержанием 0,03 кар/т. Среди мезозойских кимберлитов следует отметить трубку Дьянга в пределах Бенчимэ-Куойкского кимберлитового поля с содержанием 0,157 кар/м³ (0,06 кар/т). К сожалению, многолетние поисковые работы до сих пор так и не привели к открытию в этом районе более богатых кимберлитовых трубок. Тем не менее, большинство исследователей, имеющих хотя бы какое-то представление о поисковой обстановке данного района, перспективы обнаружения здесь кимберлитовых трубок с промышленным содержанием алмазов оценивают положительно. И на такое оптимистическое предположение имеются основания. Распространённые здесь в разновозрастных отложениях алмазы обладают своеобразной морфологией и отнесены специалистами-алмазниками к так называемому «кютюнгинскому» типу, который существенно отличается от алмазов «северного» типа. «Кютюнгинский» тип алмазов характерен только для данного района и не встречается на других территориях севера ЯАП. Алмазы этого типа образуют относительно локальную минералогическую аномалию размером около 40×85 км, по масштабам общей площади (3500 км²) соответствующую кимберлитовому полю среднепалеозойского возраста. Строение ореола алмазов «кютюнгинского»

типа неоднородное. В северной его части (реки Кютюнгде, Улахан-Юеттээх, Угюс-Юрюе, Булбарангда, Толуопка) алмазы данного типа встречаются практически в «чистом» виде. Вниз по течению р. Молодо происходит постепенное уменьшение содержания алмазов в результате их смешения с «северным» типом вплоть до их полного исчезновения в аллювии нижнего течения р. Молодо. Так, если в россыпях «Далдын», «Ырас», «Кривун», «Верхнее Молодо», «Среднее Молодо» содержание алмазов «кютюнгдинского» типа составляет 60–70%, то в аллювии р. Молодо ниже устья р. Сюнгюде они исчезают вообще.

Для алмазов «кютюнгдинского» типа характерно повышенное содержание высокосортных ламинарных алмазов ряда октаэдр–ромбододекаэдр. Количество прозрачных, весьма прозрачных и чистой воды кристаллов местами достигает 90%, в среднем составляя 71%, при суммарном содержании кристаллов I разновидности, по Ю. Л. Орлову [12], равном 94,1%. Одновременно отмечается низкое содержание типичных округлых алмазов «уральского» типа (в среднем 10,3%) и додекаэдровидов с шагренью и полосами пластической деформации «жильного» типа (4,4%) при полном отсутствии кристаллов V–VII разновидностей. Типоморфной особенностью «кютюнгдинских» алмазов также является присутствие агрегатов VIII разновидности, повышенное содержание алмазов с оболочкой IV разновидности (7,6%), которые встречены только в трубках Айхал и Юбилейная центральной части ЯАП, а также наличие жёлтых кубовидов II разновидности «удачнинского» типа. При этом на кристаллах совершенно отсутствует износ истирания. Наиболее древним коллектором «кютюнгдинских» алмазов являются отложения турнейского яруса нижнего карбона в пределах Кютюнгдинского грабена (см. рисунок), представленные нуччаюрегинской свитой, содержание алмазов в которой, по результатам обогащения, в среднем достигает 0,173 кар/м³, а, по данным химического растворения, – 1,59 кар/м³, доходя в отдельных пробах до 3,31 кар/м³. Содержание алмазов в россыпях, сформированных за счёт алмазов «кютюнгдинского» типа (россыпи «Далдын», «Верхнее Молодо» и «Среднее Молодо»), более высокое и достигает 8,1 кар/м³ при высоком качестве алмазного сырья. Средняя стоимость алмазов «кютюнгдинского» типа, исходя из современной конъюнктуры, может в среднем составлять 100–150 долларов за карат, а по р. Далдын, в бассейне которой отмечается

наиболее высокий процент алмазов «кютюнгдинского» типа, их стоимость может возрасти до 250–300 долларов. По мнению ведущего специалиста-алмазника В. И. Коптиля, по качеству кристаллы «кютюнгдинского» типа близки к алмазам из трубки Удачная центральной части ЯАП, и для них прогнозируются богатые коренные источники с содержанием не менее 1 кар/т и при цене от 200–300 до 400 долларов за карат. Благоприятными условиями для возможного освоения коренных месторождений алмазов на стыке Приленского и Нижнеолёнёкского алмазоносных районов являются выгодное географо-экономическое положение территории, обусловленное близостью крупной транспортной магистрали (р. Лена), и наличие разрабатываемых россыпных месторождений алмазов.

Находки алмазов в древних промежуточных коллекторах, помимо упомянутой выше нуччаюрегинской свиты (C_1nj) раннекаменноугольного возраста, установлены также в виде единичных кристаллов в грубообломочных терригенно-карбонатных породах кысылхайнской свиты (C_1kh), а также в далдынской (C_3-P_1dl) и булбарангдинской (P_2bl) свитах позднего палеозоя. Уровень алмазоносности базального горизонта нижнедалдынской подсвиты крайне низок и в среднем составляет 0,01 кар/м³, достигая по отдельным пробам 0,156 кар/м³. Однако он на порядок выше, чем в базальном горизонте верхнедалдынской подсвиты. На участке Лунный в пределах Куойкско-Далдынского поднятия при опробовании грубозернистых фаций булбарангдинской свиты обнаружено всего 13 кристаллов средним весом 5,3 мг. Фациальные особенности позднепалеозойских отложений на участке, размерность кристаллов алмаза, наличие контрастного ореола кимберлитовых минералов хорошей сохранности (I–II классов) свидетельствуют в пользу близости их коренного источника. Алмазы, установленные в древних промежуточных коллекторах нижнего карбона и в целом верхнего палеозоя, имеют незначительный механический износ.

Что касается непосредственно минералов-индикаторов кимберлитов, встречающихся в данном районе совместно с алмазами, то они установлены в древних промежуточных коллекторах начиная от нижнего карбона на северо-восточном борту Кютюнгдинского грабена и далее во всех отложениях верхнего палеозоя на Молодо-Оленёкском междуречье. Кроме этого, МИК широко представлены в русловом аллювии водотоков,

дренирующих данные отложения. На северо-восточном борту Кютюнгинского грабена ореолы МИК выявлены в нижнекаменноугольных отложениях нуччаюрегинской и кысылхайнской свит. В отложениях нижней пачки нуччаюрегинской свиты МИК (пироп, пикроильменит и хромшпинелид) локализованы, как и алмазы, в грубообломочных прослоях. Кимберлитовые минералы сильно окатаны, что свидетельствует в пользу формирования грубообломочных горизонтов свиты в прибрежно-морских условиях. Для пиропов из отложений нуччаюрегинской свиты характерно преобладание зёрен размером $-1+0,5$ мм округлой формы, преимущественно лилового цвета с высокими содержаниями разноцветной окраски (до 25,4–28,6%) и зёрен алмазной ассоциации, по критерию Н.В.Соболева [13], (до 7,1–11,0%). В бассейне р. Нучча-Юряге Э.А.Шамшиной в конгломератах, помимо пироба и пикроильменита, были обнаружены чешуйки неизменённого флогопита кимберлитового генезиса [19, 20].

Кимберлитовые минералы в отложениях кысылхайнской свиты отмечаются редко. Они представлены преимущественно окатанными зёрнами пироба, очень редко встречаются циркон, пикроильменит, хромшпинелид и оливин. В одной точке в гравелитах кысылхайнской свиты были установлены пироп и пикроильменит II класса сохранности, а также трубчатый оливин. Помимо этого, в пробе-протолочке, отобранной из гравелитов кысылхайнской свиты в районе г. Кысыл-Хая, после дробления и промывки её в лотке непосредственно в поле был найден относительно свежий обломок кимберлита размером 1,5 мм, состав которого подтверждён петрографически и с помощью рентгеноспектрального анализа. Непосредственно в пределах Куойкско-Далдынского поднятия высококонтрастные ореолы минералов-индикаторов кимберлитов выявлены в базальных горизонтах верхнепалеозойских отложений на участках Лунный, Малка, Ивушка, Ырас-Центр и др. МИК представлены в основном пикроильменитом, реже пиропом и хромшпинелидом, редко цирконом, а также единичными зёрнами трубчатого оливина. Среди МИК отмечаются повышенные содержания пироба и пикроильменита хорошей сохранности (I–II классы). Все ореолы рассеяния МИК, за исключением ореола участка Ивушка, не имеют связи с известными кимберлитовыми телами района. Наибольший поисковый интерес представляют ореолы МИК,

расположенные в пределах палеовозвышенностей, выделенных в процессе реконструкций палеорельефа. Пиробы и хромшпинелиды из отдельных ореолов Молодо-Далдын-Толуопского междуречья характеризуются повышенными содержаниями зёрен алмазной ассоциации, по критерию Н.В.Соболева [13], практически отсутствующими в известных кимберлитовых телах района и ореолах ближайшего окружения. Содержания пиропов алмазной ассоциации в ореолах здесь составляют от 2,1 до 15,0%, в том числе на участке Лунный – 2,1, на участке Ивушка – 4,7 и на участке Малка – 9,8%.

По мнению большинства исследователей, погребённые территории верхнего течения р. Молодо, бассейна р. Кютюнде и Молодо-Оленёкского междуречья считаются наиболее перспективными для поисков среднепалеозойских коренных источников алмазов «кютюнгинского» типа. Отсутствие алмазов в известных среднепалеозойских кимберлитах Толуопского и Мерчимденского кимберлитовых полей (см. рисунок) и наличие их в древних промежуточных коллекторах в совокупности с благоприятными минералогическими признаками (повышенное содержание ламинарных кристаллов алмаза, присутствие кимберлитовых минералов алмазной ассоциации и зёрен хорошей сохранности) позволяют предполагать существование в пределах Молодо-Далдын-Толуопского междуречья неизвестных высокоалмазоносных кимберлитовых тел. В то же время, исходя из современного состояния изученности территории, возникают некоторые вопросы относительно безальтернативной перспективности Молодо-Далдын-Толуопского водораздела по отношению к коренным источникам алмаза «кютюнгинского» типа. Вряд ли стоит отрицать, что коренные источники «кютюнгинских» алмазов в современном эрозионном срезе не вскрыты. В противном случае они при такой детальной изученности территории, давно уже были бы обнаружены. Алмазы в современные россыпи поступают в результате размыва продуктивных горизонтов верхнепалеозойских отложений. Вероятнее всего, что эти продуктивные отложения более широко распространены, чем современные контуры Кютюнгинского грабена. По этой причине поиски промышленных месторождений алмазов только в пределах бортов грабена могут не дать желаемых результатов. Кимберлитовые трубки, поставляющие алмазы в каменноугольные отложения, могут оказаться достаточно

удалёнными, и для того, чтобы так думать, есть определённые основания. Как уже было отмечено, алмазы и кимберлитовые минералы установлены не только в основании нижнекарбонových отложений, а именно в нуччаюрегинской свите. Они также присутствуют и в терригенных отложениях кысылхайнской свиты визейского яруса, а это около 400 м вверх по разрезу карбонových отложений! Кроме того, алмазы присутствуют в отложениях далдынской свиты карбон-нижнепермского возраста – плюс ещё 100 м. Получается, что область сноса кимберлитового материала в пермо-карбонových отложения существовала достаточно долго. В этом случае данная область сноса должна быть значительно удалена, так как ближайшие территории на момент формирования визейских осадков уже были закрыты отложениями турнейского яруса. Не случайно среди алмазников существует устоявшееся мнение, что формирование россыпей в течение длительного времени является следствием их оторванности от коренных источников. При условии, конечно, что кимберлитовый материал в отложениях кысылхайнской свиты не является результатом переотложения из более раннего коллектора. Данное обстоятельство нельзя исключать и его следует учитывать при дальнейших работах в данном районе. Хотя против поступления алмазов и МИК в отложения кысылхайнской свиты в результате их переотложения из осадков нуччаюрегинских слоёв свидетельствуют определённые доводы. Во-первых, на момент формирования осадков кысылхайнской свиты отложения нуччаюрегинской свиты были захоронены «пустыми» отложениями толуопской свиты. Во-вторых, если всё же допустить, что где-то по периферии карбонového поля и перемывались отложения нуччаюрегинской свиты, то концентрация МИК в осадках кысылхайнской свиты должна если и не превышать, то хотя бы быть примерно сопоставимой с концентрацией МИК в нуччаюрегинской свите. В процессе переотложения кимберлитовых минералов обычно происходит обогащение минеральной ассоциации. Мизерные же содержания МИК и алмазов в осадках кысылхайнской свиты по сравнению с отложениями нуччаюрегинской свиты свидетельствуют, вероятно, в пользу затухания интенсивности сноса и о единой области питания материалом как в нуччаюрегинское, так и в кысылхайнское время. При этом непосредственно в отложениях нуччаюрегинской свиты не исключается переотложенный

характер как алмазов, так и самих МИК из более древнего осадочного коллектора ($D_3-C_1?$). В пользу этого также имеются некоторые данные. Так, в разрезе нуччаюрегинской свиты отмечается полифациальность терригенной толщи, обусловленная присутствием среди прибрежно-морских отложений образований переходных и даже континентальных (?) фаций, в строении которых принимал участие преимущественно местный обломочный материал. Однако в отложениях, содержащих слабоокатанный местный обломочный материал, присутствие идеально окатанных кимберлитовых минералов является ничем иным как несоответствием шлиховой минеральной ассоциации облику вмещающих осадков.

Местные источники сноса предполагаются также для отложений кысылхайнской (г. Кысыл-Хая) и удаганской свит карбона. Если в пределах Кютюнгинского грабена действительно имели место местные алмазоносные коренные источники в непосредственной близости, материал ближнего сноса должен иметь место в этих осадках наравне с местным обломочным материалом. Особенно это касается удаганской свиты, в верхах разреза которой присутствуют пролювиальные фации. В этой связи заслуживает особого внимания Усунку-Салаатинское поднятие непосредственно в самом грабене на междуречье Кютюнде-Усунку-Салаата, которое, по мнению некоторых геологов, являлось устойчивой областью сноса как в ниже-верхнедалдынское время, так и, не исключено, в турнейское. Присутствие данного поднятия в пределах Кютюнгинского грабена требует подтверждения на основе анализа геофизических данных. В случае подтверждения его присутствия, необходимо провести глубинное доизучение с целью определения его в качестве возможной области сноса местного кимберлитового материала.

Пока же кимберлитовый материал ближнего сноса в осадках карбонových отложений достоверно до сих пор не установлен. Отсутствие местного кимберлитового материала в карбонových осадках ближнего сноса свидетельствует или о перекрытии кимберлитовых тел более молодыми осадками на момент формирования данных отложений, или об их значительном удалении. Отдельные сомнительные находки, такие как флогопит в отложениях нуччаюрегинской свиты, МИК хорошей сохранности в отложениях кысылхайнской свиты, включая зёрна оливина, и обломок кимберлита, к сожалению, пока не нашли

последующего подтверждения. К тому же источниками этих аномальных находок ближнего сноса могли быть близлежащие неалмазоносные кимберлиты, среднепалеозойский возраст которых нельзя исключать, в том числе и для отдельных тел Бенчимэ-Куойкского кимберлитового поля. В связи с этим возникает вопрос о достоверности изучения разреза терригенных отложений нижнего карбона на предмет наличия в них МИК ближнего сноса, особенно верхней его части.

Таким образом, в качестве вероятной области сноса кимберлитового материала в нижнекарбоновые отложения не должно исключаться и относительно удалённое окружение Кютюнгинского грабена, включая территории, расположенные к востоку, северо-востоку и юго-востоку от него. Поэтому решение проблемы коренных источников алмазов «кютюнгинского» типа, несмотря на относительную локальность ореола их рассеяния, требует вовлечения в анализ и оценку более обширных территорий, значительно превышающих размеры самого ореола. Вариант формирования древних россыпей за счёт источника ближнего сноса, область которого расположена в пределах Молодо-Далдын-Толуопского водораздела, как и вообще Молодо-Оленёкского междуречья, является наиболее оптимистичным, но всё же необязательно единственно вероятным.

По результатам ранее проведённых тематических исследований в пределах Лено-Анабарского междуречья установлено, что в предкарбоновое время на левобережье р. Лена в районе устья р. Молодо существовало унаследованное Приленское поднятие, которое может рассматриваться как реликт докембрийского Западно-Верхоянского рифтового свода. Территория Приленского выступа, которая в настоящее время перекрыта мезозойскими отложениями, погрузилась лишь в предготеривское время, а в позднепалеозойское время существовала как область сноса. Не исключено, что поступление кимберлитового материала в район Кютюнгинского грабена осуществлялось с территории данного Приленского выступа. Здесь прогнозируется очаг кимберлитового магматизма с предполагаемым абсолютным возрастом 1,4 млрд. лет.

Как видим, вопросов в отношении проблемы коренных источников алмазов «кютюнгинского» типа значительно больше, чем ответов. И кто бы ни занимался их решением, он прежде должен ответить на вопросы более конкретного,

но не менее принципиального плана, выяснение которых поможет продвинуться в решении основной проблемы:

- присутствуют ли МИК с морским износом в разрезах далдынской и бульбарандинской свит;
- имеются ли аналоги по составу карбоновым гранатам с морским износом среди континентальных разностей данного минерала;
- аналогичны ли по составу гранаты из отложений нуччаюрегинской свиты гранатам из осадков кысылхаинской свиты;
- соответствуют ли составы пикроильменитов из отложений нуччаюрегинской свиты в бассейне р. Толуопка составам данного минерала из известных кимберлитовых тел Толуопского поля;
- имеются ли гранаты алмазной ассоциации среди континентальных разностей, в том числе в отложениях далдынской и бульбарандинской свит, или алмазную ассоциацию среди гранатов обеспечивают исключительно изношенные зёрна с «карбоновой» морфологией?

Для решения данных вопросов потребуется проведение детальных специализированных минералогических исследований МИК, включая их парагенетическую классификацию на основе состава. Необходимо также выяснить наличие и количество среди МИК конкретных участков севера-востока Сибирской платформы минералов алмазоносных и высокоалмазоносных парагенезисов среди эклогитовых и пироксенитовых разностей. Особенно это касается граната. Также принципиально важно установить для гранатов с морским износом из нижнекарбоновых отложений наличие аналогичных по составу разностей среди минеральных ассоциаций с континентальным обликом в отложениях далдынской и бульбарандинской свит. По кимберлитовым минералам с континентальным износом можно уже вести прямые поиски коренных источников алмазов путём их прослеживания с учётом мехизноса по шкале сохранности первичных поверхностей [16, 17]. Кроме этого, необходимо провести более тонкие исследования самих алмазов в пределах площади: их изотопии, физических свойств, включений и др. с целью более точного определения границ ореола распространения алмазов «кютюнгинского» типа. Уже сейчас ореол «кютюнгинских» алмазов, по отдельным находкам, растягивается до 60–70×170 км, а возможно, он ещё шире.

При проведении алмазопроисковых работ в пределах Лено-Анабарского междуречья следует

уделить более пристальное внимание известным кимберлитовым телам мезозойского возраста. Необходимо на основе использования современных косвенных методов провести переоценку их потенциальной алмазности с учётом минералов эклогитового и пироксенитового парагенезисов. Для этого необходимо выполнить специальные исследования химических составов кимберлитовых минералов с определением их парагенетической принадлежности. Это позволит рекомендовать для последующего прямого опробования те тела, которые, по минералогическому критерию, будут оценены как потенциально алмазные. При этом вряд ли стоит ожидать среди мезозойских кимберлитов тел, обладающих повышенной алмазностью, сопоставимой с алмазностью среднепалеозойских кимберлитов центральной части ЯАП. Среди мезозойских кимберлитов если и будут установлены алмазные трубки, то уровень их алмазности вряд ли будет превышать средние значения. Но даже слабоалмазные тела данного возраста могут представлять интерес с позиций качества алмазного сырья. В мировой практике известны случаи, когда трубки с достаточно низкими содержаниями алмазов (сотые доли карата) являются рентабельными для промышленного освоения. В качестве примера можно привести мезозойские трубки рудника Летсенг-ля-Терайе (Лесото), где среднее содержание алмазов составляет всего 0,01–0,03 кар/т. При этом стоимость алмазов из данного рудника является одной из самых высоких и превышает 2500 долларов за карат [21], что делает его рентабельным для промышленной обработки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Афанасьев В.П., Лобанов С.С., Похиленко Н.П.* и др. Полигенез алмазов Сибирской платформы // Геология и геофизика. – 2011. – № 3. – С. 335–353.
2. *Афанасьев В.П., Похиленко Н.П., Егорова Е.О., Линденблот Е.С.* Древнейшие алмазы Сибирской платформы // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Северо-Востока России: материалы IX всероссийской научно-практической конференции. – Якутск: Издательский дом СВФУ, 2019. – Т. I. – С. 2114–116.
3. *Граханов С.А.* Алмазность россыпей северо-востока Сибирской платформы и перспективы поисков их коренных источников: автореф. дисс. ... канд. геол.-минер. наук. – Воронеж, 2001. – 29 с.
4. *Граханов С.А., Зарукин А.О., Богуш И.Н., Ядренкин А.В.* Открытие верхнетриасовых россыпей алмазов в акватории Оленёкского залива моря Лаптевых // Отечественная геология. – 2009. – № 1. – С. 53–64.
5. *Зинчук Н.Н., Коптиль В.И.* Типоморфизм алмазов основных площадей геологоразведочных работ АК «АЛРОСА» в Западной Якутии // Геологические аспекты минерально-сырьевой базы акционерной компании «АЛРОСА»: современное состояние, перспективы, решения. – Мирный, 2003. – С. 85–108.
6. *Зинчук Н.Н., Коптиль В.И.* Особенности алмазов из россыпей Сибирской платформы в связи с проблемой прогнозирования из коренных источников // Геология алмазов – настоящее и будущее. – Воронеж: ВГУ, 2005. – С. 1020–1050.
7. *Зинчук Н.Н., Коптиль В.И.* Об особенностях алмазов из кимберлитов и древних осадочных толщ (на примере Центрально-Сибирской алмазносной субпровинции) // Вестник Воронежского гос. университета. Серия Геология. – 2018. – № 4. – С. 28–38.
8. *Ковальчук О.Е., Липашова А.Н., Богуш И.Н.* К вопросу о первоисточниках алмазов из россыпей Лено-Анабарского междуречья // Проблемы прогнозирования и поисков месторождений алмазов на закрытых территориях: материалы конференции, посвященной 40-летию ЯНИГП ЦНИГРИ АК АЛРОСА. – Якутск: Изд-во ЯНЦ СО РАН, 2008. – С. 169–176.
9. *Константиновский А.А.* Нижнеленский погребенный массив и некоторые вопросы размещения кимберлитов на северо-востоке Сибирской платформы // Геотектоника. – 1979. № 1. – С. 48–57.
10. *Логвинова А.М., Вирт Р., Томиленко А.А.* и др. Особенности фазового состава наноразмерных кристаллофлюидных включений в аллювиальных алмазах северо-востока Сибирской платформы // Геология и геофизика. – 2011. Т. 52 (11). С. 1634–1648.
11. *Натапов Л.М., Сибирицев Ю.М., Гогина Н.И.* и др. Новый промежуточный коллектор алмазов и их спутников на Сибирской платформе // Геология и методы прогнозирования алмазных месторождений: труды ЦНИГРИ. – М., 1981. – Вып. 156. – С. 34–40.
12. *Орлов Ю.Л.* Минералогия алмаза. – М.: «Наука», 1984. – 264 с.

13. *Соболев Н.В.* О минералогических критериях алмазности // Геология и геофизика. – 1971. – № 3. – С. 70–80.
14. *Соболев Н.В.* Глубинные включения в кимберлитах и проблема состава верхней мантии. – Новосибирск: Наука, 1974. – 263 с.
15. *Хачатрян Г.К., Зинчук Н.Н., Коптиль В.И.* Структурные дефекты в алмазах северо-востока Сибирской платформы и их типоморфное значение // Геология алмазов – настоящее и будущее. – Воронеж: Изд-во ВГУ, 2005. – С. 1607–1615.
16. *Хмельков А.М.* Оценка дальности переноса кимберлитовых минералов при алмазопоисковых работах // Алмазы и благородные металлы Тимано-Уральского региона: материалы всероссийского совещания. – Сыктывкар: ИГ НЦ УрО РАН, 2006. – С. 38–40.
17. *Хмельков А.М.* Основные минералы кимберлитов и их эволюция в процессе ореолообразования (на примере Якутской алмазносной провинции). – Новосибирск: АРТА, 2008. – 252 с.
18. *Хмельков А.М.* Выявление нового прогнозируемого кимберлитового поля и перспективы северной окраины Якутской алмазносной провинции // Отечественная геология. – 2012. – № 2. – С. 15–22.
19. *Шамшина Э.А., Никишов К.Н., Зимнухов А.М.* Минералы кимберлитового парагенезиса в нижекарбонатных конгломератах кютюндинского грабена // Кимберлитовый и базитовый магматизм района Оленёкского поднятия. – Якутск: Изд-во ЯФ СО АН СССР, 1980. – С. 58–66.
20. *Шамшина Э.А.* Минералы кимберлитовых пород в разновозрастных отложениях севера Сибирской платформы. – Якутск: ЯФ СО АН СССР, 1986. – 108 с.
21. *Bowen Debbie C., Ferraris Ray D., Palmer Claire E. and Ward John D.* On the unusual characteristics of the diamonds from Letšeng-la-Terae kimberlites, Lesotho // 9th International Kimberlite Conference Extended Abstract No 9IKC-A-00094, 2008.

REFERENCES

1. *Afanas'ev V.P., Lobanov S.S., Pokhilenko N.P. et al.* Poligenez almazov Sibirskoi platform [Polygenesis of Siberian platform diamonds]. *Geologiya i geofizika*. 2011, no. 3, P. 335–353.
2. *Afanas'ev V.P., Pokhilenko N.P., Egorova E.O., Lindenblot E.S.* Drevneishie almazy Sibirskoi platformy [The oldest diamonds of the Siberian platform]. *Geologiya i mineral'no-syr'evye resursy Severo-Vostoka Rossii: materialy IX vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii*. Yakutsk: Izdatel'skii dom SVFU publ., 2019, V. I, P. 2114–116.
3. *Grakhanov S.A.* Almazonosnost' rossypei severo-vostoka Sibirskoi platformy i perspektivy poiskov ikh korennykh istochnikov [Diamond content of placers in the North-East of the Siberian platform and prospects for searching for their root sources]. Avtoref. diss. ... kand. geol.-miner. nauk. Voronezh. 2001. 29 p.
4. *Grakhanov S.A., Zarukin A.O., Bogush I.N., Yadrenkin A.V.* Otkrytie verkhnetriasovykh rossypei almazov v akvatorii Olenekskogo zaliva morya Laptevyykh [Discovery of upper Triassic diamond placers in the Olenek Bay of the Laptev sea]. *Otechestvennaya geologiya*. 2009, no. 1, P. 53–64.
5. *Zinchuk N.N., Koptil' V.I.* Tipomorfizm almazov osnovnykh ploshchadei geologorazvedochnykh rabot AK «ALROSA» v Zapadnoi Yakutii [Typomorphism of diamonds in the main areas of ALROSA exploration in Western Yakutia]. *Geologicheskie aspekty mineral'no-syr'evoi bazy aktsionernoi kompanii «ALROSA»: sovremennoe sostoyanie, perspektivy, resheniya*. Mirnyi, 2003, P. 85–108.
6. *Zinchuk N.N., Koptil' V.I.* Osobennosti almazov iz rossypei Sibirskoi platformy v svyazi s problemoi prognozirovaniya iz korennykh istochnikov [Features of diamonds from placers of the Siberian platform in connection with the problem of forecasting from indigenous sources]. *Geologiya almazov – nastoyashchee i budushchee*. Voronezh, VGU publ., 2005, P. 1020–1050.
7. *Zinchuk N.N., Koptil' V.I.* Ob osobennostyakh almazov iz kimberlitov i drevnykh osadochnykh tolshch (na primere Tsentral'no-Sibirskoi almazonosnoi subprovintsii) [About the features of diamonds from kimberlites and ancient sedimentary strata (for example, the Central Siberian diamond-bearing subprovince)]. *Vestnik Voronezhskogo gos. universiteta. Seriya Geologiya*. 2018, no. 4, P. 28–38.
8. *Koval'chuk O.E., Lipashova A.N., Bogush I.N.* K voprosu o pervoistochnikakh almazov iz rossypei Leno-Anabarskogo mezhdurech'ya [On the question of primary sources of diamonds from placers of the Leno-Anabar interfluve]. *Problemy prognozirovaniya i poiskov mestorozhdenii almazov na zakrytykh territoriyakh: materialy konferentsii, posvyashchennoi 40-letiyu YaNIGP TsNIGRI AK «ALROSA»*. Yakutsk, Izd-vo YaNTs SO RAN publ., 2008. P. 169–176.
9. *Konstantinovskii A.A.* Nizhnelenskii pogrebennyi massiv i nekotorye voprosy razmeshcheniya kimberlitov na severo-vostoke Sibirskoi platformy [Nizhnelenskoe buried array and the distribution of kimberlites in the northeast of the Siberian platform]. *Geotektonika*. 1979, no. 1, P. 48–57.
10. *Logvinova A.M., Virt R., Tomilenko A.A. et al.* Osobennosti fazovogo sostava nanorazmernykh kristallofluidnykh vklyuchenii v allyuvial'nykh almazakh severo-vostoka Sibirskoi platform [The peculiarities of phase composition of nanosized crystallising inclusions in alluvial diamonds in the northeastern Siberian platform]. *Geologiya i geofizika*. 2011, V. 52 (11), P. 1634–1648.
11. *Natapov L.M., Sibirtsev Yu.M., Gogina N.I. et al.* Novyi promezhutochnyi kollektor almazov i ikh sputnikov na Sibirskoi platforme [New intermediate collector of diamonds and their satellites on the Siberian platform]. *Geologiya i metody prognozirovaniya almaznykh mestorozhdenii: trudy TsNIGRI*. Moscow, 1981, Issue 156, P. 34–40.
12. *Orlov Yu.L.* Mineralogiya almaza [Mineralogy of diamond]. Moscow, Nauka publ., 1984, 264 p.
13. *Sobolev N.V.* O mineralogicheskikh kriteriyakh almazonosnosti [The mineralogical criteria of diamond-bearing]. *Geologiya i geofizika*. 1971, no. 3, p. 70–80.
14. *Sobolev N.V.* Glubinye vklyucheniya v kimberlitakh i problema sostava verkhnei mantii [Deep inclusions in kimberlites and the problem of upper mantle composition]. Novosibirsk, Nauka publ., 1974, 263 p.
15. *Khachatryan G.K., Zinchuk N.N., Koptil' V.I.* Strukturnye defekty v almazakh severo-vostoka Sibirskoi platformy i ikh tipomorfnoe znachenie [Structural defects in diamonds of the North-East of the Siberian platform and their typomorphic value]. *Geologiya almazov – nastoyashchee i budushchee*. Voronezh, VGU publ., 2005, P. 1607–1615.
16. *Khmel'kov A.M.* Otsenka dal'nosti perenosa kimberlitovykh mineralov pri almazoposkovykh rabotakh [Estimation of the transfer range of kimberlite minerals during diamond prospecting operations].

- Almazy i blagorodnye metally Timano-Ural'skogo regiona: materialy vserossiiskogo soveshchaniya. Syktyvkar, IG NTs UrO RAN publ., 2006, P. 38–40.
17. *Khmel'kov A.M.* Osnovnye mineraly kimberlitov i ikh evolyutsiya v protsesse oreolobrazovaniya (na primere Yakutskoi almazonosnoi provintsii) [The main minerals of kimberlites and their evolution in the process of halo formation (on the example of the Yakut diamond-bearing province)]. Novosibirsk, ARTA publ., 2008, 252 p.
 18. *Khmel'kov A.M.* Vyyavlenie novogo prognoziruемого kimberlitovogo polya i perspektivy severnoi okrainy Yakutskoi almazonosnoi provintsii [Identification of a new predicted kimberlite field and prospects for the Northern edge of the Yakut diamond province]. *Otechestvennaya geologiya*. 2012, no. 2, P. 15–22.
 19. *Shamshina E.A., Nikishov K.N., Zimnukhov A.M.* Mineraly kimberlitovogo paragenezisa v nizhnekarbonovykh konglomeratakh kyutyungdinskogo grabena [Minerals of kimberlite paragenesis in lower carbon conglomerates of the kyutyungda Graben]. *Kimberlitovyi i bazitovyi magmatizm raiona Olenekskogo podnyatiya*. Yakutsk, Izd-vo YaF SO AN SSSR publ., 1980, P. 58–66.
 20. *Shamshina E.A.* Mineraly kimberlitovykh porod v raznovozrastnykh otlozheniyakh severa Sibirskoi platform [Minerals of kimberlite rocks in different age deposits of the North of the Siberian platform]. Yakutsk, YaF SO AN SSSR publ., 1986, 108 p.
 21. *Bowen Debbie C., Ferraris Ray D., Palmer Claire E. and Ward John D.* On the unusual characteristics of the diamonds from Letšeng-la-Terae kimberlites, Lesotho. 9th International Kimberlite Conference Extended Abstract No 9IKC-A-00094, 2008.

Журнал «Отечественная геология» принимает участие в геологических конференциях, совещаниях, съездах в качестве информационного партнёра, освещая на своих страницах важные события отрасли.

Приглашаем к сотрудничеству представителей геологических, горно-геологических, горнодобывающих организаций и предприятий, отраслевых научно-исследовательских, академических и образовательных институтов по вопросам размещения рекламы или издания целевого номера.

Об использовании гипергенных образований кимберлитов при алмазопроисловых работах

Н.Н.ЗИНЧУК (Западно-Якутский научный центр (ЗЯНЦ) Академии наук Республики Саха (Якутия); 678170, г. Мирный, Якутия, Чернышевское шоссе, 16)

Сравнительное комплексное исследование древних кор выветривания (КВ) на породах различного химического и минералогического состава позволило проследить особенности их гипергенного изменения и определить типоморфные признаки элювиальных продуктов, что очень важно для решения ряда прикладных задач. Переотложенные в древних осадочных толщах продукты различных типов КВ сохраняют структурные и кристаллохимические особенности по отношению к минералам элювиальных толщ, что позволяет проследить пути поступления в бассейны седиментации терригенного (в том числе и алмазоносного) материала.
Ключевые слова: древние коры выветривания, гипогенные и гипергенные минералы, типоморфизм минералов, алмазоносные толщи.

Зинчук Николай Николаевич
доктор геолого-минералогических наук



nnzinchuk@rambler.ru

About use of hypergene formations kimberlites during diamond-prospecting works

N.N.ZINCHUK (West-Yakutian Scientific Centre of RS (Y) AS)

Comparative complex investigation of ancient crusts of weathering on rocks of various chemical and mineralogical composition allowed tracing specific features of their hypergene alteration and typomorphic indications of eluvial products, which is very important for solving a number of applied tasks. That is why redeposited in ancient sedimentary thick layers products of various types of crusts of weathering preserve structural and chrystallochemical features in relation to the minerals of eluvial thicknesses, which allow tracing the ways of terrigenous material arrival into sedimentation basins (including diamondiferous material).
Key words: ancient crusts of weathering, hypogene and hypergene minerals, typomorphism of minerals, diamondiferous thicknesses.

Основными поставщиками обломочного терригенного материала в формирующиеся отложения континентального типа служат размываемые на территориях древних платформ мира элювиальные толщи на породах различного состава. Коры выветривания возникают при благоприятных соотношениях следующих основных факторов [7–9]: интенсивности выветривания, глубины возможного корообразования и скорости размыва образовавшегося элювия. Интенсивность выветривания резко возрастает с увеличением температуры и количества выпадающих осадков. Большое значение имеет также обилие гумусового вещества, обладающего кислотными свойствами.

Мощность КВ во многом зависит от глубины залегания грунтовых вод. К корам выветривания обычно относят элювиальные толщи хемогенно преобразованных образований, развивающихся на поверхности любых материнских пород и сохраняющих их макро- и мезоструктуру [6–11]. Нередко в разрезах таких изменённых пород наблюдается зональность. Под зональностью КВ принято понимать определённую её часть (горизонт), обладающую примерно однородным минеральным составом, физико-механическими свойствами, структурно-текстурными особенностями и характеризующуюся определённым комплексом происходящих в ней геохимических процессов.

Под профилем КВ подразумевается совокупность всех её зон. Наиболее сильно изменённые разности исходных пород расположены обычно в верхах разрезов. Важным следствием процесса корообразования является специфический цвет слагающих КВ отдельных частей, который в ряде случаев (особенно в трубчатых телах основного или ультраосновного состава) резко отличается от окраски вмещающих пород, не затронутых процессами гипергенного преобразования. Кора выветривания характеризуется различной мощностью, которая в целом определяется уровнем грунтовых и трещинных вод, чем существенно отличается от почвенного слоя. Главнейшим фактором выветривания является климат. На территории земного шара (от экватора до полюсов) выделяются (имея площадное распространение) следующие климатические пояса: гумидный тропический, аридный, гумидный умеренный и нивальный. Полные профили КВ развиваются в областях гумидного тропического климата, характеризующихся высокой среднегодовой температурой и обилием осадков, что обуславливает бурное развитие на поверхности растительности. В верхних горизонтах таких разрезов процессы выветривания могут доходить (рис. 1) до образования каолинита (сиалитный или каолиновый тип выветривания) и даже минералов бокситовой группы, в частности гиббсита (латеритный тип выветривания). В гумидном умеренном поясе, несмотря на обилие органического вещества в почвенном профиле, количество выпадающих метеоритных вод значительно меньше. Это приводит к замедлению интенсивности гипергенного преобразования пород, то есть возникновению сокращённых профилей выветривающихся толщ. Ещё меньшая интенсивность этого процесса наблюдается в областях аридного климата. Указанные изменения нередко ограничиваются развитием в их разрезе лишь промежуточных горизонтов, в связи с чем рассматриваемые КВ характеризуются неполными профилями, что часто наблюдается в алмазоносных районах Сибирской платформы (СП). В зоне нивального климата процессы выветривания ограничиваются только начальными стадиями гипергенного изменения пород без чётко выраженной зональности. Важное значение в процессе формирования КВ имеет также геолого-тектонический фактор, проявляющийся в основном через рельеф. Так, накопление наиболее мощных элювиальных толщ связано с крупными пенепленами, приуроченными

к водораздельным территориям [14–17]. В областях с сильно расчленённым рельефом верхние выветрелые горизонты смыываются, и поэтому КВ (аналогично аридному поясу) обычно свойственны неполные профили. По морфологическим особенностям залегания и соотношения с коренными породами выделяются два основных типа КВ – площадного и линейного распространения. Как разновидность площадной коры на территории алмазоносных районов СП автор выделил [5–7, 21, 22] также КВ локального распространения в пределах трубок взрыва трапповых и кимберлитовых пород. КВ первого типа характеризуются значительным латеральным и близким к горизонтальному залеганием их подошвы. Мощность развития КВ на трубчатых телах определяется степенью устойчивости к процессам гипергенного изменения слагающих их пород по сравнению с вмещающими толщами. Поскольку слагающий трубки взрыва туфогенный материал характеризуется рыхлым строением (например, туфы, туфобрекчии и туфогенные образования), то этот тип определяет более интенсивную фильтрацию через него поверхностных вод, чем через окружающие трубки породы. Линейные коры выветривания приурочены к контактовым и тектонически ослабленным зонам, являясь в основном как бы корнями площадных КВ, проникающими в коренные породы на весьма значительную глубину (иногда на многие сотни метров).

Выветривание представляет собой глобальный процесс физико-химического преобразования их как в субаквальных, так в основном в субаэральных условиях [2–4, 11–13, 20]. Процесс выветривания затрагивает практически все слагающие верхнюю оболочку Земли породы (изверженные, метаморфические и осадочные, включая карбонатные и хемогенные разности последних). Наиболее чёткие закономерности указанного процесса наблюдаются в профилях КВ алюмосиликатных пород (особенно изверженных), отдельные разности которых характеризуются выраженной контрастностью как по химическому составу, так и по минералогическим особенностям. Однако для выяснения некоторых частных вопросов минералогии КВ при сравнительном анализе различных типов элювиальных продуктов важные данные могут быть получены также при изучении КВ и на осадочных породах по особенностям изменения минералов, довольно близких к кислым породам. Механизм гипергенного преобразования различных гипогенных минералов

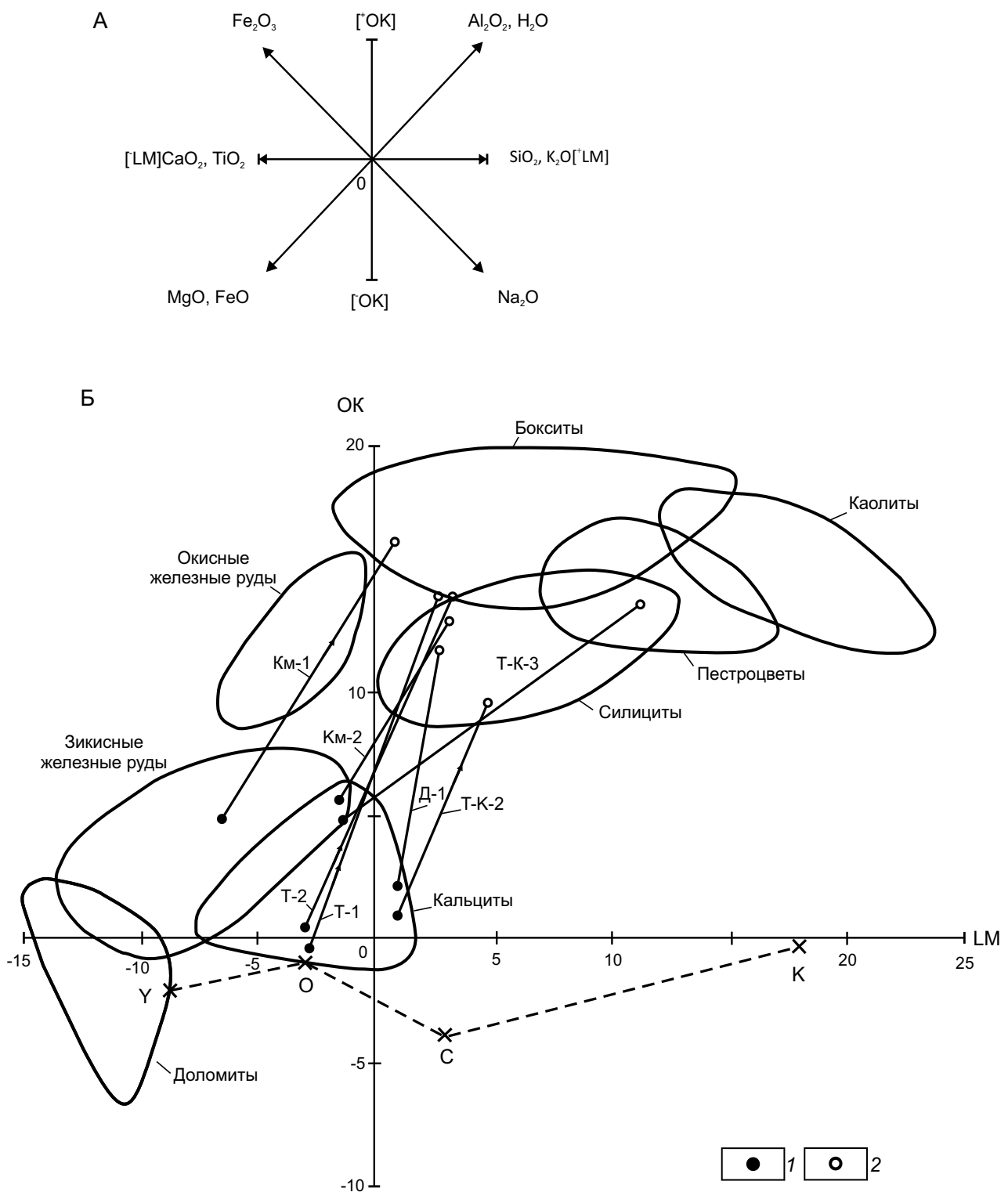


Рис. 1. Вариационная диаграмма LM–OK химического состава пород и продуктов их изменения в земной коре [8]:

А – векторы породообразующих оксидов на диаграмме; Б – распределение химических составов продуктов выветривания терригенно-карбонатных пород (Т-К), долеритов (Д), туфов и туфогенных образований (Т) и кимберлитов (Км); породы: У – ультраосновные, О – основные, С – средние, К – кислые; Б-2 – скв.432/192; Б-3 – скв.114/176; В-1 – скв.202/44; Г-1 – скв. Ан-50; Г-2 – скв.280/188; Д-1 – скв.А-63К; Д-2 – шахта 102; 1 – исходные породы; 2 – выветрелые продукты

определяется их структурными особенностями. Физическое и химическое изменение исходных пород (в том числе и кимберлитов) сводится к последовательной дезинтеграции их на всё более мелкие отдельности. Указанные процессы следует рассматривать [1–4, 12–15, 20] на трёх уровнях, соответствующих макро-, мезо- и микропреобразованиям выветривающихся пород. На природе образующихся новых фаз большое влияние оказывают характер среды, определяемый свойствами её параметрами pH и Eh . При этом в зависимости от характера среды, свойственной профилю выветривания пород определённого типа, одни и те же первичные минералы могут испытывать различные изменения.

Анализ данных по алмазоносному магматизму древних платформ мира (в том числе и СП) выявил [9] определённую его связь с эпохами корообразования. Отмечено, что магматический процесс на континентах развивался циклично, переживая относительные максимумы (ранний кембрий, ордовик, ранняя юра, поздний мел, палеоген) и минимумы (средний кембрий, силур–девон, средняя юра, ранний мел, неоген). Большая часть «пиков» магматизма на континентах обычно соответствует эпохам мощного корообразования: раннепалеозойской, поздне триасовой–раннеюрской, поздне меловой–раннепалеогеновой и миоценовой. Из выделяемых в неогее восьми эпох мантийного диапиризма и корообразования [9] на Сибирской платформе важная роль принадлежит поздне триасовой–раннеюрской. В конце пермского периода в основных алмазоносных районах Сибирской платформы – Малоботуобинском (МБАР), Далдыно-Алакитском (ДААР), Средне-Мархинском (СМАР) – начались излияния лав и внедрение траппов, особенно сильно проявившиеся к началу раннего триаса. К концу этого периода длительная эпоха денудации рельефа завершилась пенеппенизацией СП. Региональная пенеппенизация в среднем и верхнем триасе обусловлена эпохой относительного тектонического покоя, предшествовавшей юрской активизации СП. В раннем и среднем триасе климат был субтропический с элементами аридного с резко неравномерным распределением осадков по сезонам, а в позднем триасе–ранней юре с возросшим количеством атмосферных осадков. Всё это способствовало формированию мощной (преимущественно каолиновой) коры выветривания на породах различного состава – кислых, средних, основных, ультраосновных, а также на ши-

роко развитых терригенно-карбонатных образованиях нижнего палеозоя. При этом корообразование, денудация и переотложение элювиальных продуктов этих КВ в коррелятивные толщи рассматриваемых алмазоносных районов происходили относительно равномерно, что было обусловлено слабыми изменениями палеорельефа и тектонического режима. В пределах упомянутых выше районов Якутской алмазоносной провинции (ЯАП) в структурном плане древние КВ приурочены преимущественно к конседиментационным палеоподнятиям, в пределах которых в период формирования перекрывающих их отложений развивались обстановки денудационных и денудационно-аккумулятивных равнин. В конседиментационных палеоподнятиях, служивших местами аккумуляции материала переотложенных КВ, наоборот, были неблагоприятные условия для интенсивного корообразования. Возможно, здесь протекали только начальные стадии дезинтеграции пород субстрата. Так, в пределах МБАР в мезозойское время структуры формировались в двух различных структурно-формационных зонах (рис. 2), резко отличающихся условиями развития и сохранения доюрских КВ. Первая из них охватывает всю северо-западную половину территории района и в структурном отношении совпадает с северо-западным бортом Ангаро-Виллюйского мезозойского наложенного прогиба (АВМНП), являющегося на протяжении длительного времени (норий–ранний лейас) денудационной и только в плинсбахе – денудационно-аккумулятивной поверхностью [7–10]. Здесь ко времени корообразования были развиты верхнепалеозойские вулканогенно-терригенные отложения, а также породы трапповой (долериты, туфы и туфогенные образования) и кимберлитовой формаций. Только в полосе шириной до 30 км (редко больше – по депрессиям и древним водотокам, размывавшим трапповое плато) вдоль бровки северо-западного борта того же прогиба в то время обнажались терригенно-карбонатные породы нижнего палеозоя. Здесь в средне-поздне триасовое время, судя по сохранившимся разрезам полного профиля латеритоподобной КВ, существовали благоприятные условия для интенсивного корообразования (см. рис. 2). Вторая – юго-восточная зона района, совпадающая с центральной частью АВМНП, была неблагоприятной для интенсивного корообразования. Здесь в среднем и позднем триасе обнажались терригенно-карбонатные породы нижнего палеозоя, разрушенный

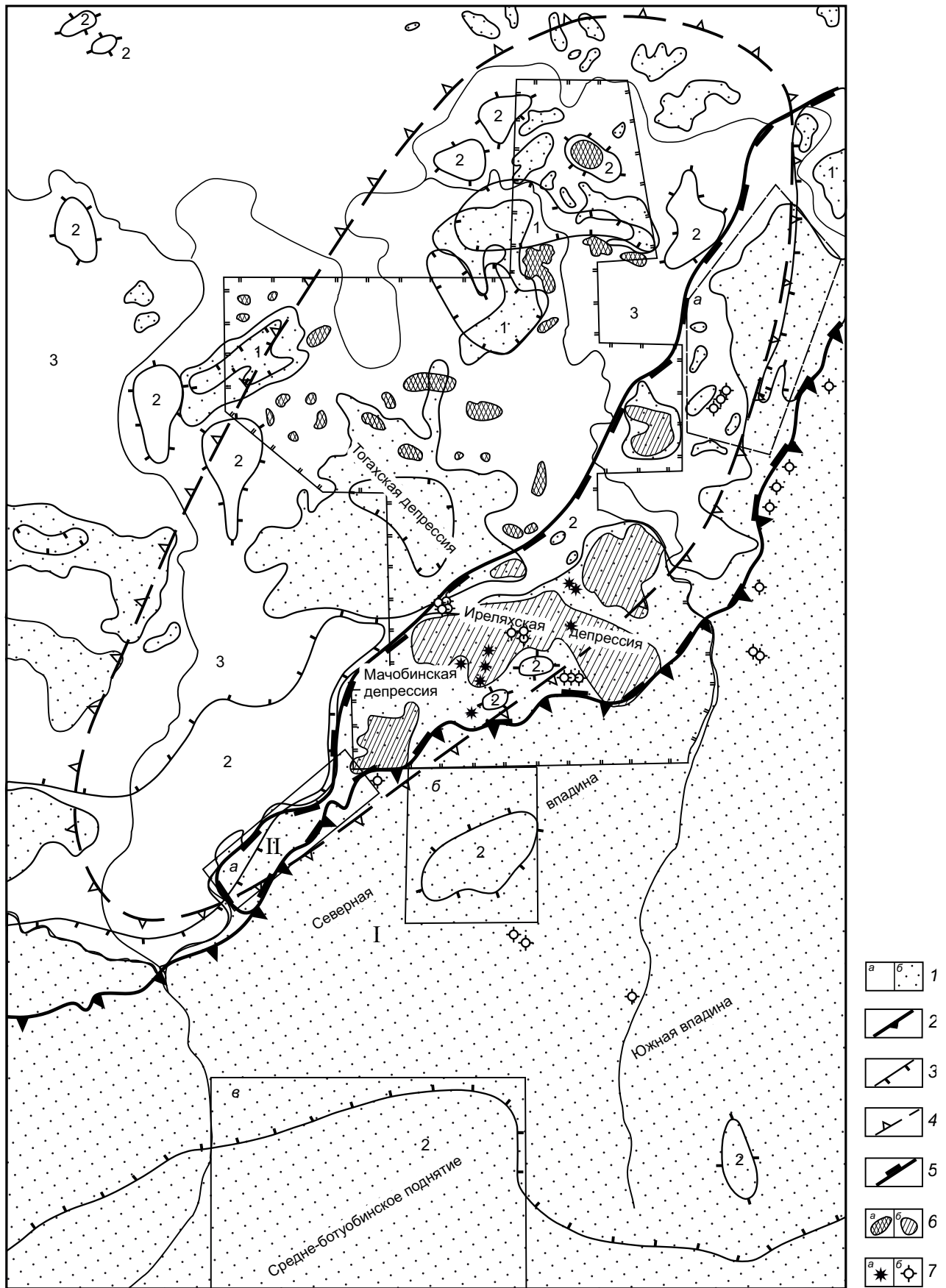


Рис. 2. Карта поверхностей средне-позднетриасового выравнивания и кор выветривания Малоботубинского алмазодобывающего района:

1 – поверхности выравнивания и развитые на них коры выветривания среднего–верхнего триаса, в значительной степени уничтоженные более поздними денудационными процессами: *a* – перекрытые верхнетриасовыми–нижнеюрскими отложениями, *b* – отпрепарированные; 2 – граница двух структурно-формационных зон: I – юго-восточной, территориально совпадающей с центральной частью Ангаро-Виллюйского прогиба, II – северо-западной, охватывающей северо-западный борт этого прогиба, преимущественно трапповое плато; 3 – площади, в пределах которых условия для развития и сохранения кор выветривания и продуктов их ближнего перераспределения были благоприятными (1), благоприятными (2) и весьма благоприятными (3); граница: 4 – Нижне-Ботубинского неотектонического поднятия и 5 – площади распространения преимущественно терригенно-карбонатных пород нижнего палеозоя; 6 – поля развития кор выветривания: *a* – на долеритах и туфах нижнего триаса, *b* – на терригенно-карбонатных породах нижнего палеозоя; 7 – трубки взрыва: *a* – трапповых и *b* – кимберлитовых пород

выветрелый материал которых сносился в пониженные участки центральной части прогиба. Синхронность этих процессов подчёркивается отсутствием КВ под глинистыми мезозойскими образованиями, сохранившимися от размыва в мелких депрессиях. Возможно, на небольших поднятиях этой территории кора выветривания могла достигать значительной мощности.

Большое значение для прохождения процессов гипергенного изменения различных пород имеет их первичный состав. Так, практически бесслюдистые кислые породы, например лейкократовые граниты [9–11], содержат (в %): микроклина до 54, олигоклаза – 22, кварца – 16 и слюды (мусковита и биотита) – 4. В нижней зоне профиля КВ такие породы характеризуются появлением лишь небольшого количества (~4%) слабо упорядоченного преимущественно $Al-Fe^{3+}$ -монтмориллонита ($b=8,94 \text{ \AA}$) и галлуазита ($b=8,94 \text{ \AA}$) за счёт начальной стадии разложения плагиоклаза и наименее устойчивой части калиевого полевого шпата. Несмотря на одинаковые значения указанного параметра, последний, в отличие от очень мелких псевдоизометричных частиц монтмориллонита, чётко диагностируется под электронным микроскопом по трубчатой форме кристаллов. Одновременно с этим вследствие более слабой

устойчивости триоктаэдрических слюд по сравнению с их диоктаэдрическими аналогами [11, 18–19] быстрой деградации подвергается также и биотит. Это сопровождается частичной диоктаэдризацией исходного материала с возникновением небольшого количества монтмориллонит-гидрослюдистого смешанослойного образования (МГСО) с тенденцией к упорядоченному чередованию преобладающих – неразбухающих пакетов с подчинёнными – разбухающими. В средней зоне профиля КВ в результате интенсивного разложения указанных выше исходных минералов резко увеличивается содержание монтмориллонита и особенно галлуазита. В то же время вследствие неустойчивости монтмориллонита по мере последовательного снижения щёлочности среды из продуктов его разложения формируется каолинит ($b=8,90 \text{ \AA}$) в виде относительно крупных пачек как по оси *c*, так и в плоскости *ab*. Верхняя зона благодаря резко выраженной кислой среде характеризуется преобладанием процесса преобразования главной массы микроклина в каолинит с более высокой, чем в средней зоне, степенью совершенства структуры, но с меньшим в целом размером его доменных микроблоков. В свою очередь, доля галлуазита снижается, а монтмориллонит в связи с интенсивным дренажем и быстрым выносом из этой зоны неустойчивых химических элементов не возникает вообще [7–10].

Бесслюдистые основные породы (в частности амфибол-плагиоклазовые гнейсы архея), развитые на древних платформах мира [8], представлены на 60% плагиоклазом типа андезин-лабрадора и на 40% амфиболом. В нижней зоне профиля выветривания этих пород из гипергенных минералов содержится только небольшая примесь монтмориллонита. Однако по сравнению с кислыми породами последний относится преимущественно к триоктаэдрической $Mg-Fe^{2+}$ -разновидности ($b=9,18 \text{ \AA}$). Средняя зона в результате смены восстановительной обстановки на окислительную характеризуется гаммой промежуточных разновидностей монтмориллонита от три- до собственно диоктаэдрической ($b=9,00 \text{ \AA}$). За счёт продуктов деструкции последней, как и в соответствующей зоне профиля КВ кислых пород, развивается каолинит ($b=8,92 \text{ \AA}$). В отличие от аналогичной зоны выветривания кислых бесслюдистых образований, в элювии основных пород этот минерал имеет более высокую степень совершенства структуры, о чём свидетельствует

его чётко идентифицируемая политипная модификация 1Тк. Кроме того, каолинит в профиле выветривания этих пород характеризуется повышенной дисперсностью. Благодаря большей устойчивости минералов цепочечной и ленточной структур по сравнению с каркасной образование монтмориллонита в условиях сохранения слабощелочной среды продолжается, в отличие от кислых пород, и в верхней зоне. При этом последовательно усиливается процесс возникновения промежуточных фаз с элементами ди-триоктаэдрического заселения октаэдрических позиций в их структуре, то есть образованием ди-триоктаэдрического Mg-Fe³⁺-монтмориллонита ($b=9,08 \text{ \AA}$). Возрастает содержание каолинита, в котором одновременно повышается степень совершенства структуры. Формирование отдельных зон в разрезах КВ бесслюдистых изверженных пород как кислого, так и основного состава имеет в целом общие черты. В профиле выветривания обоих типов пород средняя зона характеризуется в основном развитием в виде промежуточной фазы монтмориллонита, а верхняя – весьма устойчивого в зоне гипергенеза каолинита. Отличия заключаются главным образом в кристаллохимической природе монтмориллонита, возникающего в рассматриваемых породах не только по плагиоклазам различной основности, но и по роговой обманке. Это определяет меньшую скорость преобразования синтезирующегося в элювии основных пород близкого к триоктаэдрической разновидности разбухающего минерала в каолинит. Последний в профиле выветривания указанных пород характеризуется более высокой степенью совершенства структуры, хотя и меньшим размером частиц. Кроме того, благодаря присутствию в кислых породах альбита образуется также галлуазит.

Породы с слюдистыми образованиями (как, например, терригенно-карбонатные отложения раннего палеозоя СП) содержат (см. рис. 1) в нижней зоне профиля выветривания диоктаэдрическую гидрослюду ($b=9,00 \text{ \AA}$) в виде смеси политипных модификаций 1М и 2М₁ ($1М > 2М_1$), триоктаэдрический хлорит ($b=9,22 \text{ \AA}$) и серпентин ($b=9,35 \text{ \AA}$). Эти отложения характеризуются развитием на них доверхнепалеозойской и донижнеюрской КВ. Наибольшее преобразование исходные породы претерпели в КВ средне-позднетриасового возраста. В средней зоне КВ рассматриваемых пород хлорит и серпентин полностью исчезает. Подвергается существенной деградации также гидрослюда 1М (как менее устойчивая по сравнению с 2М₁),

причём трансформационные процессы в структуре гидрослюды 1М обуславливают значительное увеличение количества разбухающих слоёв, в то время как гидрослюда 2М₁ остаётся относительно стабильной [6–9]. В результате этого возникает МГСО с содержанием вначале менее 40% разбухающих пакетов, но в верхней зоне количество последних существенно увеличивается. Вследствие весьма низкого совершенства структуры этой фазы она в кислой среде, свойственной верхней зоне КВ, быстро подвергается деструкции, и из образующихся продуктов возникает полубеспорядочный в структурном отношении каолинит. В результате указанных трансформаций содержание гидрослюды 1М к верхам профиля резко снижается, поэтому здесь наблюдается преобладание политипа 2М₁ ($2М_1 > 1М$). В свою очередь, слюдистые породы основного типа, в частности амфибол-флогопит-плагиоклазовые гнейсы (типа архейского возраста), содержат около 50% основного плагиоклаза, 30% флогопита, 20% амфибола [7, 15]. В нижней зоне КВ они характеризуются наличием, кроме того, примеси триоктаэдрического хлорита ($b=9,20 \text{ \AA}$), а также три- (или Mg-Fe²⁺-) и диоктаэдрической (или Al-Fe³⁺-) разновидностей монтмориллонита (b , соответственно, 9,20 и 8,91 \AA), связанных в последнем случае с начальной стадией трансформации флогопита в свойственной этой зоне восстановительной обстановке и в небольшом объёме с деструкцией плагиоклаза. В слабо выветрелых частях общей верхней зоны в связи с развитием вверх по профилю выветривания всё более окислительной обстановки флогопит трансформируется в вермикулит ($b=9,16 \text{ \AA}$). Плагиоклаз и амфибол в этих условиях подвергаются интенсивному растворению, причём из продуктов разложения первого (как и в нижней зоне) возникает ди- ($b=9,96 \text{ \AA}$), а второго – ди-триоктаэдрический или Mg-Fe³⁺-монтмориллонит ($b=9,06 \text{ \AA}$). При этом, учитывая высокую основность плагиоклаза, при его деструкции в виде побочной фазы синтезируется также CaCO₃ в виде кальцита. Одновременно в результате деструкции диоктаэдрического монтмориллонита и полностью диоктаэдризированной части триоктаэдрической разновидности этого минерала возникает каолинит, характеризующийся относительно упорядоченной структурой и высокой дисперсностью частиц. Кроме этого, благодаря частичной деградации вермикулита образуется ассоциирующий с ним ди-триоктаэдрический монтмориллонит, что доказывается [7–9] разложением

обеих этих фаз при кипячении их в течение 1,5 часов в 10%-ном растворе HCl, но сохранением после обработки образца 10% раствором CH₃COOH. В более выветрелых частях верхней зоны по мере развития кислой среды и прогрессирующего выноса Mg из межслоевых промежутков вермикулита при сохранении в его микроблоках лишь менее 10% слоёв первичного минерала и диоктаэдризации указанной выше разновидности монтмориллонита в результате их гомогенизации возникает неупорядоченное вермикулит-монтмориллонитовое смешанослойное образование (ВМСО). Благодаря не только структурной, но и кристаллохимической неоднородности этой фазы она разлагается при обработке образцов тёплым 10%-ным раствором как HCl, так и CH₃COOH. Кроме того, рассматриваемая ди-триоктаэдрическая фаза после прокаливания образцов в течение 1,5 часов при 600° С вместо чёткого рефлекса, свойственного дегитратированному состоянию ди- или триоктаэдрической разновидности монтмориллонита, образует широкую дифракционную полосу. Дальнейшая полная диоктаэдризация указанной выше фазы обеспечивает (см. рис. 1), в соответствии с рассмотренным ранее [7, 8] механизмом, дополнительный синтез каолинита, что приводит к общему увеличению содержания этого минерала в рассматриваемой части разреза.

Разности ультраосновных пород (как например, кимберлиты СП) представлены агрегатами серпентина из слоёв типа А и В ($b=9,29 \text{ \AA}$) и кальцита с рассеянными выделениями магнетита, а также разнообразными псевдоморфозами по оливину и переменным количеством вкрапленников флогопита [1, 8–14, 18–20]. В нижней зоне КВ таких пород содержится, кроме того, примесь хлорита ($b=9,20 \text{ \AA}$), сепиолита, ди-триоктаэдрического Mg-Fe³⁺-монтмориллонита ($b=9,05 \text{ \AA}$) и гидрослюды ($b=9,00 \text{ \AA}$) 1М, ассоциирующей с MgCO, относящимися в последних двух случаях к продуктам частичной диоктаэдризации флогопита. В средней зоне отмечается последовательное увеличение количества гидрослюды, а серпентин представлен только слоями А. Одновременно с этим резко увеличивается содержание как Mg-Fe-хлорита, так и близкого к собственно Mg-разновидности, а также Mg-Fe³⁺-монтмориллонита, причём неразбухающий минерал, судя по свойственным ему узким рефлексам на рентгенодифрактограммах, характеризуется относительным совершенством структуры. Смешанослойная фаза в этих двух частях разреза характеризуется

тенденцией к упорядоченному чередованию преобладающих (неразбухающих) пакетов с подчинёнными (разбухающими). В верхних частях профиля выветривания в связи с развитием в них окислительной обстановки хлорит не образуется, а вместо флогопита возникает вермикулит и рассмотренные выше продукты его дальнейшей трансформации. Одновременно с этим в результате продолжающегося процесса диоктаэдризации монтмориллонита происходит некоторое ухудшение степени совершенства его структуры, что проявляется [8–10] на рентгенодифрактограммах увеличением полной ширины на половину высоты его рефлексов. Сопровождающая эти преобразования в низах верхней зоны частичная деструкция монтмориллонита обуславливает относительное увеличение содержания в ней гидрослюды. В свою очередь, в структуре смешанослойной фазы содержание неразбухающих пакетов уменьшается, в результате чего последние в этом случае неупорядоченно чередуются с преобладающими – разбухающими. В самых верхах разреза из продуктов деструкции наиболее упорядоченной части диоктаэдрического монтмориллонита и смешанослойной фазы синтезируется небольшая примесь каолинита. Из сказанного следует, что профили КВ слюдястых пород от кислого до ультраосновного состава также характеризуются сходным строением. Особенностью изменения пород уже в нижней зоне является возникновение [1, 6, 14] за счёт первичных гипогенных минералов (главным образом триоктаэдрических слюд) гипергенного хлорита. В средней зоне наиболее развиты разбухающие минералы. Однако по сравнению с бесслюдистыми породами они представлены наряду с монтмориллонитом смешанослойной фазой. При этом оба указанных минерала в основных и ультраосновных породах относятся не только к собственно диоктаэдрическому типу, но и близкому к триоктаэдрическому с прогрессирующей диоктаэдризацией последнего вверх по разрезам профилей выветривания. Это является необходимым условием для возникновения в дальнейшем из продуктов деструкции разбухающих минералов наиболее устойчивого в гипергенных условиях слоистого минерала – каолинита [8–10]. Для продуктов выветривания слюдястых разновидностей основных пород, как и их бесслюдистых аналогов, характерно к тому же, в отличие от кислых пород, более высокое содержание разбухающих минералов. Благодаря этому и вследствие существенной

триоктаэдричности значительной части этих минералов в профилях выветривания основных пород в результате более быстрого разложения наименее совершенной в структурном отношении слюдястой фазы политипной модификации $1M_1$ и, соответственно, производной от неё $MGCO$ элювий обогащается устойчивым политипом $2M_1$.

Формирование отдельных зон в профиле выветривания различных типов бесслюдистых и слюдистых пород (от кислых до ультраосновных включительно) определяется не только их минералогией и гидрохимией среды на разных уровнях выветривания, но и структурными особенностями породообразующих минералов и механизмом их преобразования в зоне гипергенеза. Главнейшим процессом изменения бесслюдистых пород являются растворение исходных минералов и в зависимости от скорости выноса подвижных элементов [2, 8] из системы минералообразования и соответствующих изменений кислотно-щелочных и окислительно-восстановительных параметров последовательно развивающийся синтез определённых минералов или их ассоциаций. Указанный механизм преобразования исходных пород и возникновения в различных зонах профиля выветривания минеральных фаз подчёркивается характером взаимоотношения между первичными и вторичными минералами. Так, согласно оптическим и электронно-микроскопическим исследованиям (в последнем случае в основном по данным растровой электронной микроскопии) при выветривании пород вследствие полного или частичного растворения наименее устойчивых гипогенных минералов в объёме образующихся вначале отдельностей породы возникают полосы и каналы. При этом, согласно наблюдениям [8–9], на раннем этапе гипергенного процесса минералы претерпевают максимальное изменение со стороны сколов, не совпадающих с плоскостями наиболее совершенной спаянности, то есть в местах оборванных кристаллических связей. В то же время на гранях, соответствующих главнейшим плоскостям спаянности, этот процесс протекает более медленно, особенно у относительно устойчивых к выветриванию минералов. В этом случае на указанных гранях в местах развития кристаллических дефектов в структуре (в частности выхода на поверхность дислокаций) развиваются зародышевые формы вторичных минералов, а также различной конфигурации фигуры травления [9]. На более поздних этапах выветривания вновь образующиеся минералы возникают как в пусто-

тах, включая первичные поры, трещины самой разнообразной природы и участки выщелачивания неустойчивых минералов, так и на поверхности относительно устойчивых первичных минералов, в том числе на гранях и сколах наиболее стабильного в зоне гипергенеза минерала – кварца. Необходимо отметить, что форма и размеры вторичных фаз не зависят от морфологии исходных минералов. На сопряжённость процессов растворения гипогенных и кристаллизации гипергенных минералов указывает также образование тонких минеральных смесей в пределах практически любого исходного минерального индивида. Это свидетельствует о формировании вторичных и глинистых минералов в отдельных зонах профиля выветривания, происходящем либо путём растворения исходных минералов с последующим синтезом из продуктов их деструкции новообразованных фаз в отдельных частях объёма разрушенных зёрен, либо в результате кристаллизации минералов из интерстиционных растворов в ранее существовавших порах пород или возникающих в процессе их геологической истории в трещинах.

В профилях выветривания бесслюдистых кислых пород, содержащих из слабоустойчивых минералов преимущественно кислые плагиоклазы, а из относительно более устойчивых – калиевые полевые шпаты, на ранних этапах элювиального процесса в условиях промежуточного между щелочными щелочно-земельными элементами и частично Si синтезируется главным образом диоктаэдрический монтмориллонит непостоянного в отдельных участках элювия химического состава [2–5, 17–22]. Согласно имеющимся данным [7, 9], кислые и средние плагиоклазы представляют собой тонкие структуры распада твёрдых растворов с переслаиванием доменов, попеременно обогащённых Na и Ca , то есть характеризующихся гетерогенностью кристаллического строения. В то же время основные плагиоклазы с преимущественным заселением структурных позиций в пустотах трёхмерного тетраэдрического каркаса катионами Ca , как правило, являются гомогенными образованиями. Эти особенности плагиоклазов непосредственно наследуются структурой возникающих за счёт их деструкции разновидностей монтмориллонита, то есть последний в продуктах изменения основных пород имеет более высокую степень совершенства структуры. Соответственно, образующийся по роговой обманке монтмориллонит также характеризуется относительно

упорядоченной структурой, что частично сохраняется и в продуктах его последовательной диоктаэдризации. Указанные элементы различия в совершенстве структуры минерала-предшественника отражаются и на возникающих за их счёт разновидностях каолинита. В частности, по гетерогенным плагиоклазам, свойственным кислым породам, содержащим значительное количество как Na, так и Ca, образуется весьма разупорядоченный каолинит [5–7]. Общая тенденция возникновения слабоупорядоченных первичных слюдистых структур в результате раскристаллизации продуктов растворения кислых плагиоклазов (особенно их Na-Ca-разновидностей, близких к олигоклазу, то есть минералу, характеризующемуся практически равным количеством щелочных и щелочно-земельных катионов) подчёркивается, кроме того, образованием алюмосиликата из двухэтажных слоёв с наиболее низким совершенством структуры – галлуазита. На поздних стадиях элювиального процесса в резко выраженной кислой среде микроклин по известной схеме [7, 11], так же как и монтмориллонит, преобразуется в каолинит. Однако, в отличие от указанной выше генерации, последняя характеризуется более высокой степенью упорядоченности структуры. Отсюда следует, что существует закономерная унаследованность вновь возникающими силикатами (особенно слоистого типа) структурных свойств первичных минералов. Об универсальности этого процесса свидетельствует развитие указанных минералов в КВ на однотипных породах, имеющих различный возраст и развитых в весьма существенно отличающихся по геологическому строению регионах.

В КВ бесслюдистых основных пород, которые содержат главным образом основные плагиоклазы, пироксены и амфиболы, на ранних этапах гипергенного процесса вследствие растворения вначале наименее устойчивых из указанных минералов – основных плагиоклазов – образуется ассоциация из относительно более упорядоченного, чем в кислых породах, диоктаэдрического монтмориллонита и CaCO_3 . Универсальный характер развития этой ассоциации подчёркивается присутствием её в нижних зонах элювия, сформировавшегося также на долеритах СП [7–9]. Одновременно с этим за счёт продуктов разложения несколько более устойчивых в процессе гипергенного преобразования пород пироксенов и амфиболов возникает близкий к триоктаэдрической разновидности монтмориллонит. В отличие от диок-

таэдрического, этот тип монтмориллонита, как и большинство слоистых силикатов триоктаэдрического типа (особенно гипогенных), характеризуется изначально более совершенной структурой. В результате прогрессирующего выноса в процессе выветривания из структуры этого монтмориллонита Mg и полного окисления Fe^{2+} происходит последовательная диоктаэдризация его структуры и гомогенизация с диоктаэдрическим аналогом рассматриваемого минерала, связанным с деструкцией основного плагиоклаза. Учитывая общую направленность кристаллохимических преобразований минералов в зоне гипергенеза, указанный процесс имеет в этом случае необратимый характер [8, 11]. Благодаря присутствию в монтмориллонитовой массе относительно упорядоченных разновидностей этого минерала возникающий за счёт продуктов его деструкции каолинит характеризуется довольно высоким структурным совершенством. Об этом свидетельствует, в частности, чётко диагностируемая (в данном случае начиная со средней зоны, то есть уровня появления каолинита в разрезе) политипная модификация его 1Тк, не фиксируемая не только в указанной, но и в верхней зоне профилей выветривания кислых пород [8, 13]. Свойственная продуктам выветривания основных пород более высокая дисперсность каолинита обусловлена блокирующим влиянием повышенного содержания в них железистых соединений, особенно их закисных форм. На поздних стадиях выветривания, несмотря на интенсивный вынос подвижных элементов, необходимость вначале диоктаэдризации первично возникающего триоктаэдрического монтмориллонита определяет более длительное сохранение его в элювие. Каолинит к верхам разреза закономерно характеризуется повышением степени совершенства структуры.

В отличие от этого, в слюдистых разностях пород как кислого, так и основного состава наряду с растворением рассмотренных выше минералов важное значение приобретают процессы преобразования различных разновидностей слюд. Благодаря слоистой структуре минералы слюдистого типа в процессе выветривания подвергаются деградиционной трансформации, причём в зависимости от ди- или триоктаэдричности этих минералов и свойственных им политипных модификаций указанные изменения обладают определёнными особенностями. Одной из них является присутствие преимущественно в нижних и средних

частях профилей выветривания, кроме возникающего в ряде случаев (при соответствующем типе исходных пород) собственно монтмориллонита и гаммы различных смешанослойных образований. В профилях выветривания кислых пород, содержащих смесь диоктаэдрических слюдястых минералов политипных модификаций 1M и 2M₁, особенно в случае преобладания в исходных породах устойчивого политипа 1M, наиболее важное значение для образования элювиальных продуктов приобретает различная стабильность отдельных модификаций этих минералов. Так, уже на ранних этапах выветривания вследствие неоднородного замещения Si на Al в тетраэдрах кристаллической решётки слюды из части наименее заряженных межслоевых промежутков структуры 1M происходит интенсивный вынос K, что обуславливает развитие смешанослойной фазы. Вначале эта фаза характеризуется преобладанием в структуре неразбухающих пакетов, которые с тенденцией к упорядоченности переслаиваются с подчинёнными – разбухающими [7–9, 11]. По мере снижения вверх по разрезу pH среды соответственно уменьшается степень замещения в тетраэдрах Si на Al и, как следствие этого, – отрицательный заряд слоёв; вынос K из межслоевых промежутков слюдястого минерала модификации 1M увеличивается. В результате в структуре смешанослойной фазы возрастает количество лабильных пакетов, с которыми неупорядоченно чередуются подчинённые – неразбухающие. Это сопровождается, кроме того, резким нарушением порядка наложения отдельных слоёв в указанной структуре и за счёт её дальнейшей деструкции развитием на основе структурной унаследованности также неупорядоченного каолинита. В результате рассмотренного выше процесса и, соответственно, большей устойчивости политипа 2M₁ в элювии, формирующемся на поздних стадиях выветривания, наблюдается инверсия соотношения политипных модификаций слюдястых минералов.

В КВ слюдястых пород основного типа, которые содержат наряду с основными плагиоклазами, пироксенами и амфиболами также тетраэдрические слюды (главным образом биотит и флогопит, то есть минералы, характеризующиеся преимущественно политипной модификацией 1M), на ранних этапах элювиального процесса происходит развитие не только различных смешанослойных фаз, но и в зависимости от pH и Eh среды ряда промежуточных индивидуальных минералов

триоктаэдрического типа. При этом на наиболее ранних стадиях преобразования исходных пород в щелочной среде и резко восстановительной обстановке флогопит частично трансформируется [6–9] в хлорит, а на более поздних этапах в близкой к указанной выше среде, но в окислительной обстановке – в вермикулит. Хлорит в этом случае, как и в профиле выветривания рассмотренных выше слюдястых пород кислого типа, быстро разлагается. В отличие от этого, в результате деградационной трансформации вермикулита вначале возникает парагенетическая ассоциация из вермикулита и ди-триоктаэдрического монтмориллонита. Эта ассоциация устойчиво сохраняется в профиле выветривания до тех пор, пока в микроблоках исходного минерала содержится более 10% вермикулитовых пакетов. На поздних стадиях выветривания по мере повышения кислотности среды и развития всё более окислительной обстановки в микроблоках вермикулита последовательно увеличивается количество монтмориллонитовых пакетов. Когда количество вермикулитовых пакетов в указанных микроблоках становится менее 10%, происходит их гомогенизация с преобладающей массой подвергающегося одновременно с этим существенной диоктаэдризации близкого к триоктаэдрическому монтмориллонита. На накапливающихся в ходе этого процесса слабоподвижных химических элементах (Si и особенно Al) синтезируется относительно дисперсный каолинит, наследующий от исходного минерала довольно высокую степень совершенства структуры. В профилях выветривания ультраосновных пород, в частности в кимберлитах, однотипные минералы, встречающиеся как в основных, так и ультраосновных разностях пород, учитывая принцип универсальности, характеризуются близким механизмом преобразования. Особенностью гипергенного процесса в этих породах на раннем его этапе благодаря длительному сохранению высокощелочной среды является в основном лишь перекристаллизация относительно высокотемпературной политипной модификации серпентина *B* в наиболее низкотемпературную *A*.

Приведённые отличительные особенности состава гипергенных продуктов, образующихся на породах различного состава, имеют важное прикладное значение, несмотря на то, что на различных древних платформах мира они могут существенно различаться из-за неодинакового состава материнских, подвергающихся выветриванию

образований. Так, например, на Сибирской платформе благоприятные палеогеографические условия для формирования мощных кор выветривания существовали [5–8, 16–18] в позднедевонское–раннекаменноугольное и средне-позднетриасовое время. Особенности поступавшего в бассейны седиментации при формировании алмазоносных россыпей терригенного материала можно рассмотреть на примере последнего этапа. Интенсивное средне-позднетриасовое выветривание терригенно-карбонатных пород нижнего палеозоя, долеритов, агломератовых туфов трубок взрыва и триасовых туфогенных образований корвунчанской свиты, а также кимберлитов на Сибирской платформе привело к формированию значительных по мощности кор выветривания [9–11, 19–21]. Продукты их перемыва и переотложения присутствуют в мезозойских континентальных (иреляхская и укугутская свиты) и прибрежно-морских (плинсбахский и тоарский ярусы) отложениях, детально изученных [5–11] на северо-востоке АВМНП. В мезозое в пределах этой территории существовали, как показано выше, две структурно-формационные зоны, которые характеризовались специфическими особенностями строения, наложившими определённый отпечаток на формирующиеся осадки. Одна из них (юго-восточная) совпадает с центральной (приосевой) частью прогиба, где в условиях низменной аллювиальной равнины (для иреляхской и укугутской свит) накапливались [10–12] отложения, обогащённые преимущественно чуждым району полиминеральным материалом. Вторая (северо-западная) зона совпадает с северо-западным бортом АВМНП и располагается в пределах траппового плато. Здесь существовали условия денудационной и денудационно-аккумулятивной равнины, благоприятные для накопления осадков, в которых доминирует местный материал. В это время вдоль бровки северо-западного борта прогиба в пределах МБАР на поверхность выходили источники кимберлитового материала (Иреляхская и Мачобинская депрессии).

Анализ минерального состава лёгкой и тяжёлой фракций [7–9] и распределения их по площади показывает, что в иреляхских отложениях в целом развит сходный с верхнепалеозойскими породами комплекс породообразующих и акцессорных минералов. Сходство морфологического облика минералов и результаты литолого-палеогеографических реконструкций позволяют утверждать, что основными источниками поступления

этих минералов в бассейны седиментации иреляхского времени являлись широко развитые в районе и на смежных площадях породы нижнего и верхнего палеозоя. Чётко фиксируются здесь продукты переотложения КВ терригенно-карбонатных пород, трапповой и кимберлитовой формаций, максимальная концентрация которых отмечена в базальных горизонтах и нижних частях иреляхской свиты северо-восточного борта АВМНП. Продукты выветривания терригенно-карбонатных пород в образованиях иреляхской свиты этой территории уверенно идентифицируются по постоянному присутствию каолинита и диоктаэдрической гидрослюда $2M_1$. Максимальная их концентрация (до 95% пелитовой составляющей) отмечена в отложениях свиты в поле развития этой КВ. По данным электронографических исследований (см. таблицу), здесь доминирует каолинит с моноклинной элементарной ячейкой [5–7]. Однако среди частиц данного структурного типа наблюдаются индивиды с различной степенью совершенства структуры. Это связано с тем, что при переотложении каолинита происходит частичное ухудшение упорядоченности его структуры не только по оси b , но и вдоль направления a , которое проявляется в нарушении расположения на электронограммах четвёрок рефлексов и почти полном вырождении их в моноклинные пары рефлексов [6]. Такое изменение дифракционной картины свидетельствует о нарушении упорядоченности расположения в строении слоёв, что приводит к переходу от триклинной элементарной ячейки к моноклинной при сохранении общей триклинной симметрии кристаллической структуры минерала. Под электронным микроскопом частицы каолинита в большинстве случаев представлены тонкими обломками псевдогексагональных кристаллов, которые имеют не более двух-трёх граней, свойственных этому минералу, что связано с механическим разрушением их в процессе переноса. Такая форма кристаллов каолинита отмечена в отложениях иреляхской свиты одной из алмазоносных россыпей МБАР, где некоторые исследователи, основываясь на увеличении концентрации минерала вверх по разрезу, выделяют наложенный профиль выветривания. Практически полное отсутствие в таких разрезах аутигенных разностей каолинита не позволяет рассматривать его образование в процессе выветривания отложений иреляхской свиты и согласиться с выводами упомянутых исследователей о наличии в верхних горизонтах

Электроннографическая характеристика фракции мельче 0,001 мм из образцов иреляхской свиты МБАР Сибирской платформы

Места отбора проб	Глубина, м	Литологические типы пород и их цвет	Глинистые минералы, их политипные модификации, степень совершенства структуры, значение параметра b в Å	Минералы-примеси
<i>Северная часть МБАР</i>				
Ш-560/2309	6,0	Алеврит серый глинистый	сл 1М (у; 9,00)	кв
	8,0	Гравийно-песчано-глинистые образования	сл 1М (унн; 9,00)	кв
Ш-566/3000	6,6	Тёмно-серые образования	кл>>гл (унн; 8,90)	кв
Ш-520/1881	4,5	Алеврит желтовато-серый	кл; (у; 8,90)	кв, дл
	9,0	Глина серая песчано- алевритовая	сл 1М>2М ₁ (у; 9,00), кл (б; 8,90)	кв
Ш-520/1896	8,0	Глина желтовато-серая	кл>>гл (у; 9,00) сл 1М (унн; 9,00)	кв
Ш-432/1166	3,0	Песок серый мелкозернистый	кл (у; 8,90)	кв
Ш-512/1778	4,0	Алеврит глинистый серый	сл (пб; 9,00), кл (8,90)	кв
	11,0	Глина желтовато-серая	сл 1М>>2М ₁ (унн;9,00)	кв
Ш-А/578	7,0	Грязно-серые образования	кл>>гл (у; 8,90)	кв
<i>Центральная часть МБАР</i>				
Россыпь 1, обнажение 10	2,3	Алеврит серый глинистый	кл>>гл (пб; 8,90)	кв
Ш-Ан-136А	10,5	Глинистый бурый алевролит	кл(б; 8,90), м (бб; 8,93)	кв, пл
Ш-17, россыпь 2	36,6	Глина желтовато-серая	м(бб; 8,93), кл (б; 8,90)	кв, пл

Примечание. Минералы: сл – гидрослюда, кл – каолинит, кв – кварц, дл – доломит, гл – галлузит; политипные модификации: 1М – однослойной слюды, 2М₁ – двухслойной гидрослюда; степень совершенства структуры: у – упорядоченная, б – беспорядоченная, бб – полностью беспорядоченная, пб – полубеспорядоченная, унн – упорядоченная с существенными нарушениями; минералы приводятся в порядке убывания, цифры в скобках – величина b в Å; аналитик З.В.Врублевская (ИГЕМ РАН).

рэт-геттангских отложений наложенного профиля выветривания. Каолинит здесь, как и в других разрезах свиты описываемого региона, связан с переотложением преимущественно продуктов выветривания терригенно-карбонатных пород нижнего палеозоя. Изменение степени его структурной упорядоченности связано с размывом различных горизонтов этой КВ. Каолинит с очень низкой упорядоченностью структуры, ассоциирующий с каолинитоподобным минералом, близким к «файрклею», и метагаллузитом, мог поступать в бассейны седиментации иреляхского времени также за счёт перемыва и переотложения продуктов выветривания пород основного состава. Гидрослюда как главный компонент отмечена в иреляхских отложениях также за счёт перемыва и переотложения КВ терригенно-карбонатных пород, что подчёркивается и аналогичной терри-

торией распространения этих толщ. По данным электроннографических и электронномикроскопических исследований, в указанных отложениях присутствует гидрослюда 2М₁ и МГСО (см. таблицу). Соотношение этих фаз в иреляхских отложениях обычно непостоянно. Это связано, по мнению автора, с поступлением терригенного материала из различных горизонтов КВ на терригенно-карбонатных породах, где, как отмечалось раньше [6–8], содержание указанных модификаций изменяется в зависимости от степени гипергенного изменения пород. При этом наиболее выветрелый материал в иреляхских отложениях региона обычно концентрируется в базальных горизонтах или в нижних частях разрезов. Значительная концентрация продуктов переотложения материала древних КВ отмечена в иреляхских отложениях и в пределах развития

траппового плато (северо-западный борт АВМНП). В одних случаях пелитовая составляющая здесь сложена в основном смесью каолинита и диоктаэдрической гидрослюдой ($2M_1$) при подчинённой роли других слоистых силикатов (преобладает материал из КВ терригенно-карбонатных пород). В других случаях (преимущественно базальные горизонты) в ней резко доминируют монтмориллонит со смешанным составом катионов, ассоциирующий с ВМСО, а иногда с примесью метagalлуазита (преобладают материалы выветрелых пород трапповой формации, о чём свидетельствует также состав лёгкой и тяжёлой фракций). Иреляхские отложения вдоль бровки северо-западного борта АВМНП характеризуются неравномерной концентрацией материала, поступавшего из КВ на кимберлитовых породах. При этом отмечается и различная дальность его переноса. Это, кроме различного морфологического облика индикаторных минералов кимберлитов (ИМК) и алмазов, подтверждается и установленным [7–8] здесь присутствием некоторых вторичных минералов, характерных для кимберлитовых пород: Fe-Mg-хлорита, вермикулита и серпентина политипной модификации А. О незначительном переносе этих минералов свидетельствует их структурно-морфологические особенности и приуроченность к иреляхским алмазоносным россыпям МБАР, расположенным около близлежащих коренных источников.

В отличие от этого, отложения укугутской свиты (J_{uk}) характеризуются в целом незначительными (по сравнению с иреляхской свитой) концентрациями продуктов переотложения древних кор выветривания. Нижние горизонты укугутской свиты сложены [6–8] довольно мощной толщей конгломератов. Галечный материал в них представлен разнообразными изверженными, метаморфическими и осадочными породами. Подавляющее большинство (иногда до 90%) этих образований является чуждым для района. К ним относятся метаморфические и большая часть изверженных разностей. В депрессиях траппового плато (северо-западный борт прогиба) отложения укугутской свиты более обогащены продуктами переотложения древних КВ, чем в центральной части прогиба, но значительно меньше, чем в иреляхских образованиях. В отложениях укугутской свиты северо-западного борта прогиба развиты гравелиты, отличающиеся от иреляхских толщ большей грубозернистостью и иным составом обломков, среди которых не встречены

пелитизированные эффузивы. Остальная часть обломков по составу близка к иреляхским породам, однако здесь появляются обломки полнокристаллических пород – аплитов, гранит-порфиров, микрогранитов, микропегматитов и др. В укугутских отложениях заметно больше гравайных зёрен кварца и особенно полевых шпатов, представленных ортоклазом и микроклином. Чаще присутствуют в них обломки осадочных пород (алевролитов, песчаников и др.), а также метаморфических сланцев и гнейсов. Цемент в этих гравелитах преимущественно глинистый – от порового до базального типа. Нередко (бассейн руч. Улахан-Курунг-Юрях и др.) цемент сложен почти полностью серпентином (как и на отдельных площадях иреляхской свиты), который образует сферолиты, заполняющие межзерновые пространства, проникает по трещинкам в обломочные зёрна и корродирует их. Довольно характерны для укугутской свиты песчаные образования, среди которых выделяются как крупно- и разнозернистые, так и средне- и мелкозернистые разновидности. Состав породообразующих компонентов в этих отложениях приосевой части прогиба почти тот же, что и в иреляхской свите. Однако, в отличие от последней, в укугутских породах появляются сильно хлоритизированные обломки эффузивов или туфов с реликтивными порфирированными и кристаллолитокластическими структурами. Суммарное содержание обломков пород в ряде проб достигает 50–60% кластической массы. Песчаные породы укугутской свиты по составу породообразующих компонентов можно отнести к различным классам аркозовой и граувакковой групп. Цемент в песчаниках аркозовой группы преимущественно карбонатный, порового или базального типа с характерным лучистым строением, реже железисто-глинистый, от порового до плёночного типа. Цементом в граувакковых породах чаще всего служит карбонатная или глинистая масса. От аналогичных пород иреляхской свиты эти псаммиты отличаются составом литоидных обломков и значительно меньшим гипергенным изменением породообразующего материала. Алевритовые и глинистые породы в разрезе укугутской свиты встречаются сравнительно редко и обычно залегают в виде отдельных прослоев в различных частях изученной территории. Иногда в разрезе отмечается тонкое переслаивание алевритов, глин и мелкозернистых песчаных пород, а в алевритах наблюдаются мелкие частицы хлоритизированных пород, по форме и структуре

напоминающие пелитизированные обломки, встреченные в иреляхской свите, но отличающиеся от них интенсивным зелёным цветом и хлоритовым составом. Цемент в них глинистый и глинисто-карбонатный, а в алевролитах иногда карбонатный. Несмотря на в целом небольшую обогащённость отложений укугутской свиты материалом древних КВ, в локальных депрессиях северо-западного борта АВМНП в случае непосредственного залегания их на КВ терригенно-карбонатных пород (бассейн ручьев Дьегус и Улаах) или траппов в нижних горизонтах увеличивается концентрация аллотигенных глинистых минералов, связанных с гипергенными изменениями отмеченных пород.

На протяжении начального периода раннеплейстоценового времени происходил размыв как коренных, так и россыпных алмазных проявлений в обеих структурно-формационных зонах и частичный вынос материала за пределы района. В процессе этого размыва могли быть уничтожены ореолы рассеяния кимберлитового материала. В последующий период в юго-западной зоне материал местных источников сноса разубоживался большим количеством аллювиальных образований. Поэтому только при весьма благоприятных условиях (вынос кимберлитового материала на протяжении длительного времени) вдоль бровки северо-западного борта прогиба могли формироваться отдельные полосы аллювиальных осадков небольшой протяжённости. Необходимо также отметить, что находки кимберлитового материала зафиксированы в отдельных случаях и в отложениях укугутской свиты центральной части прогиба. Источниками их являются перекрытые осадочными толщами кимберлитовые тела, тяготеющие к проходящей западнее этих находок зоне глубинных разломов. На остальной территории рассматриваемой зоны кимберлитовые минералы в отложениях укугутской свиты не установлены. В отличие от этого, условия для формирования ореолов рассеяния кимберлитового материала в отложениях укугутской свиты локальных депрессий северо-западной структурно-формационной зоны были аналогичны рассмотренным выше для развитых здесь образований иреляхской свиты. Для отложений плинсбахского и тоарского ярусов в целом не характерны значительные концентрации переотложенных продуктов выветривания пород различного состава.

Таким образом, полученные в процессе проведенных исследований материалы позволяют

дифференцировать на структурном уровне одни и те же видовые разновидности первичных минералов, а также идентифицировать вторичные слоистые силикаты, различающиеся в последнем случае либо характером заселения октаэдрических позиций в их структуре (то есть ди- или триоктаэдрическим мотивом кристаллической решётки), либо способом взаимного наложения отдельных силикатных слоёв в структуре этих минералов или их политипией. Для решения прикладных вопросов в каждом перспективном регионе необходимо выяснять специфический характер гипергенных продуктов, возникающих на всех стадиях выветривания пород различного типа. В связи с этим важное значение имеет установление в разрезах КВ на различных породах главных типоморфных особенностей, свойственных индивидуальным разностям как первичных, так и вторичных образований, а в отдельных случаях и ассоциаций минералов указанного типа. Типоморфные признаки принято рассматривать на трёх уровнях, соответствующих химическому составу минералов, неоднородности их строения и особенностям кристаллической структуры. При этом в практических целях используются определённые, наиболее характерные для каждой из них свойства (с учётом анализа материала в виде оптимальной по размеру и плотности фракций). Анализ ЛМ-ОК-диаграмм (см. рис. 1) показывает, что факторы выветривания кислых (в том числе и терригенно-карбонатных) пород направлены непосредственно к полю каолинов, что в целом соответствует известной закономерности преимущественного образования указанного минерала при выветривании силикатных и близких к ним (по химическому составу) осадочных пород. Несмотря на определённое различие исходных пород основного состава, продукты их выветривания (на упомянутой диаграмме) по химической конституции на рассматриваемой стадии гипергенного процесса имеют тенденцию к их сближению. Одновременно с этим векторы выветривания пород основного состава (долеритов, туфов, туфобрекчий и туфогенных образований) направлены к полю бокситов, что обусловлено предпочтительным образованием при их выветривании гидроокислов Al. При этом, как показано на примере изучения пород трапповой формации, в виде промежуточного минерала возникает вначале каолинит, а затем гиббсит. Направление вектора выветривания на ЛМ-ОК диаграмме занимает (см. рис. 1) промежуточное

положение между полевыми кислыми (в том числе терригенно-карбонатными) образованиями и пород основного состава, то есть в продуктах их выветривания с одинаковой вероятностью может реализовываться образование как гидроокислов Al, так и каолинита. При этом свойственный слюде из ультраосновных пород (кимберлитов) политип 1M обуславливает, как менее устойчивый при выветривании, сравнительно более быстрое накопление в продуктах его диоктаэдризации Al, чем выветривание слюды 2M₁ в кислых и терригенно-карбонатных породах. Комплексное исследование кор выветривания, образованных одновременно на различных породах, позволило уточнить их типоморфные особенности, а также получить новые данные об особенностях и закономерностях их преобразования в гипергенных условиях. Переотложение продуктов выветривания вблизи областей денудации и накопление в основном в пресноводных континентальных водоёмах, а также небольшая мощность сформировавшихся осадочных толщ и незначительное погружение их определили слабое гидрохимическое воздействие среды на аллотигенные минералы, а также отсутствие (или слабое воздействие) наложенных на них процессов катагенетического преобразования. Это привело к тому, что глинистые минералы древних перспективных осадочных толщ (на Сибирской платформе это преимущественно верхнепалеозойские и мезозойские толщи), связанные в основном с процессом переотложения различных продуктов выветривания, сохраняют унаследованность структурных и кристаллохимических особенностей по отношению к минералам в разрезах элювиальных толщ. Поэтому полученные типоморфные признаки однотипных минералов лёгкой, тяжёлой и глинистой фракций можно успешно использовать для идентификации в древних осадочных толщах продуктов, которые поступали из различных местных источников сноса и связаны с гипергенными изменениями пород различного химического и минералогического состава, что успешно можно использовать при прогнозировании и поисках алмазных месторождений. Следует также отметить, что в зависимости от состава вмещающих кимберлитов пород и интенсивности их постмагматических и гипергенных изменений в перекрывающих кимберлитовые трубки и распространённых на этих же территориях толщах в их аллотигенной части будут отмечаться соответствующие

продукты переотложенных КВ, что важно при палеогеографических реконструкциях при определениях направлений переноса терригенного (в том числе алмазоносного) материала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бобреевич А.П., Илупин И.П., Козлов И.Т.* и др. Петрография и минералогия кимберлитовых пород Якутии. – М.: Недра, 1964. – 190 с.
2. *Василенко В.Б., Зинчук Н.Н., Кузнецова Л.Г.* Геодинамический контроль размещения кимберлитовых полей центральной и северной частей Якутской кимберлитовой провинции (петрохимический аспект) // Вестник Воронежского университета. Геология. – 2000. – № 3. – С. 37–55.
3. *Владимиров Б.М., Костровицкий С.И., Соловьева Л.В.* и др. Классификация кимберлитов и внутреннее строение кимберлитовых трубок. – М.: Наука, 1981. – 136 с.
4. *Егоров К.Н., Корнилова В.П., Сафронов А.Ф., Филиппов Н.Д.* Слюдяной кимберлит из трубки Удачная-Восточная // Докл. АН СССР. – 1986. – Т. 291, № 1. – С. 199–202.
5. *Зинчук Н.Н.* Особенности состава и распределения слюдистых образований в кимберлитовых породах Якутии // Известия ВУЗов. Геология и разведка. – 1991. – № 7. – С. 58–66.
6. *Зинчук Н.Н.* Сравнительная характеристика вещественного состава коры выветривания кимберлитовых пород Сибирской и Восточно-Европейской платформ // Геология и геофизика. – 1992. – № 7. – С. 99–109.
7. *Зинчук Н.Н., Борис Е.И., Яныгин Ю.Т.* Особенности минерогенеза алмаза в древних осадочных толщах (на примере верхнепалеозойских отложений Сибирской платформы). – М.: Мирнинская городская типография, 2004. – 172 с.
8. *Зинчук Н.Н., Зинчук М.Н., Котельников Д.Д.* и др. Структурно-кристаллохимические преобразования слоистых минералов на разных стадиях гипергенного изменения кимберлитов // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. – 2002. – № 1. – С. 47–60.
9. *Зинчук Н.Н., Зув В.М., Коптиль В.И., Чёрный С.Д.* Стратегия ведения и результаты алмазопромысловых работ // Горный вестник. – 1997. – № 3. – С. 53–57.
10. *Зинчук Н.Н., Коптиль В.И., Борис Е.И., Липашиова А.Н.* Типоморфизм алмазов из россыпей Сибирской платформы как основа поисков алмазных место-

- рождений // Руды и металлы. – 1999. – № 3. – С.18–31.
11. *Зинчук Н.Н., Котельников Д.Д., Соколов В.Н.* Изменение минерального состава и структурных особенностей кимберлитов Якутии в процессе выветривания // Геология и геофизика. – 1982. – № 2. – С. 42–53.
 12. *Зинчук Н.Н., Мельник Ю.М., Серенко В.П.* Апокимберлитовые породы // Геология и геофизика. – 1987. – № 10. – С. 66–72.
 13. *Зинчук Н.Н., Савко А.Д., Крайнов А.В.* Кимберлиты в истории Земли // Труды НИИ геологии ВГУ. Учебное пособие. – Воронеж: ВГУ, 2013. – Вып. 68. – 100 с.
 14. *Котельников Д.Д., Зинчук Н.Н.* Типоморфные особенности и палеогеографическое значение слюдистых минералов // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. – 1996. – № 1. – С. 53–61.
 15. *Котельников Д.Д., Зинчук Н.Н.* Особенности глинистых минералов в отложениях различных осадочных формаций // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. – 1997. – № 2. – С. 53–63.
 16. *Котельников Д.Д., Зинчук Н.Н.* Условия накопления и постседиментационного преобразования глинистых минералов в отложениях терригенной формации // Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел геологический. – 2001. – Т. 76, № 1. – С. 45–53.
 17. *Котельников Д.Д., Зинчук Н.Н.* Условия накопления и постседиментационного преобразования глинистых минералов в осадочном чехле земной коры // Вестник Воронежского университета. Геология. – 2001. – № 12. – С. 45–51.
 18. *Лапин А.В., Толстов А.В., Антонов А.В.* Изотопный состав SR и ND-кимберлитов и конвергентных с ними пород Сибирской платформы // Доклады Академии наук. – 2007. – Т. 414, № 1. – С. 78–82.
 19. *Симоненко В.И., Толстов А.В., Васильева В.И.* Новый подход к геохимическим поискам кимберлитов на закрытых территориях // Разведка и охрана недр. – 2008. – № 4–5. – С. 108–112.
 20. *Хитров В.Г., Зинчук Н.Н., Котельников Д.Д.* Применение кластер-анализа для выяснения закономерностей выветривания пород различного состава // Доклады АН СССР. – 1987. – Т. 296. – № 5. – С. 1228–1233.
 21. *Grachanov S.A., Zinchuk N.N., Sobolev N.V.* The age of Predictable primary diamond sources in the North-eastern Siberian platform // Doklady Earth Sciences. – 2015. – Vol. 465. – № 2. – P. 1297–1301.
 22. *Serov I.V., Garanin V.K., Zinchuk N.N., Rotman A.Ya.* Mantle Sources of the kimberlite Volcanism of the Siberian Platform // Petrology. – 2001. – Vol. 9. – № 6. – P. 576–588.

REFERENCES

1. *Bobrievich A.P., Ilupin I.P., Kozlov I.T.* et al. Petrografiya i mineralogiya kimberlitovykh porod Yakutii [Petrography and Mineralogy of kimberlite rocks of Yakutia]. Moscow, Nedra Publ. 1964. 190 p.
2. *Vasilenko V.B., Zinchuk N.N., Kuznetsova L.G.* Geodinamicheskii kontrol' razmeshcheniya kimberlitovykh polei tsentral'noi i severnoi chastei Yakutskoi kimberlitovoi provintsii (petrokhimicheskii aspekt) [Geodynamic control of the placement of kimberlite fields in the Central and Northern parts of the Yakut kimberlite province (petrochemical aspect)]. Vestnik Voronezhskogo universiteta. Geologiya. 2000. No.3, P. 37–55.
3. *Vladimirov B.M., Kostrovitskii S.I., Solov'eva L.V.* et al. Klassifikatsiya kimberlitov i vnutrennee stroenie kimberlitovykh trubok [Classification of kimberlites and internal structure of kimberlite pipes]. Moscow, Nauka Publ. 1981. 136 p.
4. *Egorov K.N., Kornilova V.P., Safronov A.F., Filippov N.D.* Slyudyanyi kimberlit iz trubki Udachnaya-Vostochnaya [Mica kimberlite from Udachnaya-Vostochnaya tube]. Dokl. AN SSSR. 1986. Vol. 291, No.1, P. 199–202.
5. *Zinchuk N.N.* Osobennosti sostava i raspredeleniya slyudistykh obrazovaniy v kimberlitovykh porodakh Yakutii [Features of composition and distribution of mica formations in kimberlite rocks of Yakutia]. Izvestiya VUZov. Geologiya i razvedka. 1991. No.7, P. 58–66.
6. *Zinchuk N.N.* Sravnitel'naya kharakteristika veshchestvennogo sostava kory vyvetrivaniya kimberlitovykh porod Sibirskoi i Vostochno-Evropeiskoi platformy [Comparative characteristics of the material composition of the weathering crust of kimberlite rocks of the Siberian and East European platforms]. Geologiya i geofizika. 1992. No.7, P. 99–109.
7. *Zinchuk N.N., Boris E.I., Yanygin Yu.T.* Osobennosti mineragenii almaza v drevnikh osadochnykh tolshchakh (na primere verkhnepaleozoiskikh otlozhenii Sibirskoi platformy) [Features of diamond Minerageny in ancient sedimentary strata (on the example of upper Paleozoic deposits of the Siberian platform)]. Moscow, Mirninskaya gorodskaya tipografiya Publ. 2004. 172 p.
8. *Zinchuk N.N., Zinchuk M.N., Kotel'nikov D.D.* et al. Strukturno-kristallokhimicheskie preobrazovaniya sloistykh mineralov na raznykh stadiyakh gipergenogo izmeneniya kimberlitov [Structural and crystal-chemical transformations of layered minerals at different stages of hypergenic kimberlite changes]. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Geologiya i razvedka. 2002. No.1, P. 47–60.
9. *Zinchuk N.N., Zuev V.M., Koptil' V.I., Chernyi S.D.* Strategiya vedeniya i rezul'taty almazoposkovykh rabot [Strategy and results of diamond prospecting]. Gornyi vestnik. 1997. No.3, P. 53–57.
10. *Zinchuk N.N., Koptil' V.I., Boris E.I., Lipashova A.N.* Tipomorfizm almazov iz rossypei Sibirskoi platformy kak osnova poiskov almaznykh mestorozhdenii [Typomorphism of diamonds from placers of the Siberian platform as the basis for searching for diamond deposits]. Rudy i metally. 1999. No.3, P. 18–31.
11. *Zinchuk N.N., Kotel'nikov D.D., Sokolov V.N.* Izmenenie mineral'nogo sostava i strukturnykh osobennosti kimberlitov Yakutii v protsesse vyvetrivaniya [Changes in the mineral composition and structural features of Yakutia kimberlites during weathering]. Geologiya i geofizika. 1982. No.2, P. 42–53.
12. *Zinchuk N.N., Mel'nik Yu.M., Serenko V.P.* Apokimberlitovye porody [Kimberlite rocks]. Geologiya i geofizika. 1987. No.10, P. 66–72.
13. *Zinchuk N.N., Savko A.D., Krainov A.V.* Kimberlity v istorii Zemli [Kimberlites in the history of the Earth]. Trudy NII geologii VGU. Uchebnoe posobie. Voronezh, VGU Publ. 2013. Issue 68. 100 p.
14. *Kotel'nikov D.D., Zinchuk N.N.* Tipomorfnye osobennosti i paleogeograficheskoe znachenie slyudistykh mineralov [Typomorphic features and paleogeographic significance of mica minerals]. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Geologiya i razvedka. 1996. No.1, P. 53–61.
15. *Kotel'nikov D.D., Zinchuk N.N.* Osobennosti glinistykh mineralov v otlozheniyakh razlichnykh osadochnykh formatsii [Features of clay minerals in deposits of various sedimentary formations]. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Geologiya i razvedka. 1997. No.2, P. 53–63.
16. *Kotel'nikov D.D., Zinchuk N.N.* Usloviya nakopleniya i postsedimentatsionnogo preobrazovaniya glinistykh mineralov v otlozheniyakh terrigennoi formatsii [Conditions for accumulation and post-sedimentation transformation of clay minerals in deposits of the terrigenous formation]. Byulleten' Moskovskogo obshchestva ispytatelei prirody. Otdel geologicheskii. 2001. Vol. 76, No.1, P. 45–53.
17. *Kotel'nikov D.D., Zinchuk N.N.* Usloviya nakopleniya i postsedimentatsionnogo preobrazovaniya glinistykh mineralov v osadochnom chekhle zemnoi kory [Conditions for accumulation and post-sedimentation transformation of clay minerals in the sedimentary cover of the earth's crust]. Vestnik Voronezhskogo universiteta. Geologiya. 2001. No.12, P. 45–51.

18. *Lapin A.V., Tolstov A.V., Antonov A.V.* Izotopnyi sostav SR i ND-kimberlitov i konvergentnykh s nimi porod Sibirskoi platformy [Isotopic composition of SR and ND kimberlites and convergent rocks of the Siberian platform]. Doklady Akademii nauk. 2007. Vol. 414, No.1, P. 78–82.
19. *Simonenko V.I., Tolstov A.V., Vasil'eva V.I.* Novyi podkhod k geokhimicheskim poiskam kimberlitov na zakrytykh territoriyakh [A new approach to geochemical search for kimberlites in closed territories]. Razvedka i okhrana neдр. 2008. No.4–5, P. 108–112.
20. *Khitrov V.G., Zinchuk N.N., Kotel'nikov D.D.* Prime-nenie klaster-analiza dlya vyyasneniya zakonome-rnostei vyvetrivaniya porod razlichnogo sostava [Ap-plication of cluster analysis to find out the regulari-ties of weathering of rocks of different composition]. Doklady AN SSSR. 1987. Vol. 296, No.5, P. 1228–1233.
21. *Grachanov S.A., Zinchuk N.N., Sobolev N.V.* The age of Predictable primary diamond sources in the North-eastern Siberian platform. Doklady Earth Sciences. 2015. Vol. 465. No.2. P. 1297–1301.
22. *Serov I.V., Garanin V.K., Zinchuk N.N., Rotman A.Ya.* Mantle Sources of the kimberlite Volcanism of the Siberian Platform. Petrology. 2001. Vol. 9. No. 6. P. 576–588.

К СВЕДЕНИЮ АВТОРОВ

Плата с авторов за публикацию (в том числе с аспирантов) не взимается. Гонорар не выплачивается. Автор, подписывая статью и направляя ее в редакцию, тем самым предоставляет редакции право на ее опубликование в журнале и размещение в сети «Интернет».

Направление в редакцию работ, опубликованных ранее или намеченных к публикациям в других изданиях, не допускается.

**По всем вопросам, связанными со статьями, следует обращаться в редакцию по тел. +7 (495)315-28-47,
E-mail: ogeo@tsnigri.ru**

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

Палеогидрогеохимия нефтегазоносных отложений Анабаро-Хатангского бассейна

А.В.ЧЕРНЫХ, Д.А.НОВИКОВ (Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А.Трофимука Сибирского отделения Российской академии наук (ИНГГ СО РАН); 630090, г. Новосибирск, пр-т Академика Коптюга, д. 3; Новосибирский национальный исследовательский государственный университет; 630090, г. Новосибирск, ул. Пирогова, д. 2)

Установлено, что развитие водонапорной системы Анабаро-Хатангского бассейна проходило в 12 гидрогеологических циклов. Наиболее высокая палеосолёность сингенетичных вод отвечала солеродному бассейну нижнего девона и характеризовалась величиной солёности рапы до 320–330 г/дм³ (стадия садки галита). Девонский солеродный бассейн сыграл ключевую роль в процессах формирования химического состава подземных вод и рассолов в районах распространения солянокупольных структур (Нордвик, Южный Тигян, Ильинская, Кожевникова, Ледовка и Белая). Изучение современной гидрогеохимии нефтегазоносных отложений показало, что рассолы выщелачивания в исследуемом районе стали причиной инверсионного типа вертикальной гидрогеохимической зональности. В условиях отсутствия соляных диапиров развит прямой (нормальный) тип вертикальной гидрогеохимической зональности.

Ключевые слова: периодизация гидрогеологической истории, гидрогеологический цикл, палеогидрогеохимия, соляной купол, рассол, инфильтрация, элизия, Анабаро-Хатангский бассейн, Арктика.

Черных Анатолий Витальевич



tolyachernykh@gmail.com

Новиков Дмитрий Анатольевич
кандидат геолого-минералогических наук

NovikovDA@ipgg.sbras.ru

Paleohydrogeochemistry of oil and gas bearing deposits of the Anabar-Khatanga basin

A.V.CHERNYKH, D.A.NOVIKOV (Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences; Novosibirsk State University)

It is established that the development of the water drive system of the Anabar-Khatanga Basin was carried out in 12 hydrogeological cycles. The highest paleosalinity of syngenetic waters belonged to the salt basin of the Lower Devonian and was characterized by the salinity of brine to 320–330 g/dm³ (stage of halite). The devonian salt basin played a key role in the formation of the chemical composition of groundwater and brines in the areas of the distribution of salt-dome structures of the Anabar-Khatanga Basin (Nordvik, Southern Tigyan, Ilyinskaya, Kozhevnikova, Ledovka and Belaya). The study of recent hydrogeochemistry of oil and gas bearing deposits reveal that leaching brines in the study area caused the inversion type of vertical hydrogeochemical zoning. In the absence of salt diapirs, a direct (normal) type of vertical hydrogeochemical zoning is developed.

Key words: periodization of hydrogeological history, hydrogeological cycle, paleohydrogeochemistry, salt dome, brine, infiltration, elision, Anabar-Khatanga basin, Arctic.

О необходимости изучения подземных вод в историческом аспекте высказывались ещё в конце XIX А.Добре (1887) и С.Н.Никитин (1895). В 1929 г. П.Н.Чирвинский ввёл в научную литературу и обосновал понятие исторической гидрогеологии или палеогидрогеологии [19]. Большой вклад в развитие этой науки внесли труды К.И.Макова, А.Н.Семихатова, А.М.Овчинникова, М.А.Гатальского, А.А.Карцева, Е.А.Баскова, Я.А.Ходжакулиева, Е.А.Барс, Г.П.Якобсона, А.М.Никанорова, Е.В.Пиннекера, Г.П.Волобуева, Л.А.Абуковой, С.Б.Вагина и других, чьи исследования явились основой для применения палеогидрогеологии при изучении условий формирования и закономерностей размещения месторождений нефти и газа [1, 3, 4, 7]. В последние годы палеогидрогеологические исследования в России практически не проводятся, в свет вышли отдельные ра-

боты по осадочным бассейнам Сибири, Восточного Предкавказья, Пермского Прикамья [6, 12, 14–16, 20, 24]. В мире к палеогидрогеологическим реконструкциям всё чаще привлекаются изотопные данные [18, 21, 28, 30].

Исзуемая территория расположена в пограничных районах республики Саха (Якутия) и Красноярского края (рис. 1). Геологоразведочными работами с середины XX века был открыт ряд мелких месторождений нефти и газа, таких как Нордвикское и Южно-Тигянское. До настоящего времени рассматриваемый регион, особенно его южная часть, слабо изучен бурением. Анабаро-Хатангский бассейн (АХБ) рассматривается в последние годы как один из перспективных регионов для прироста ресурсной базы углеводородов в пределах арктических районов Восточной Сибири, в том числе шельфа моря Лаптевых.

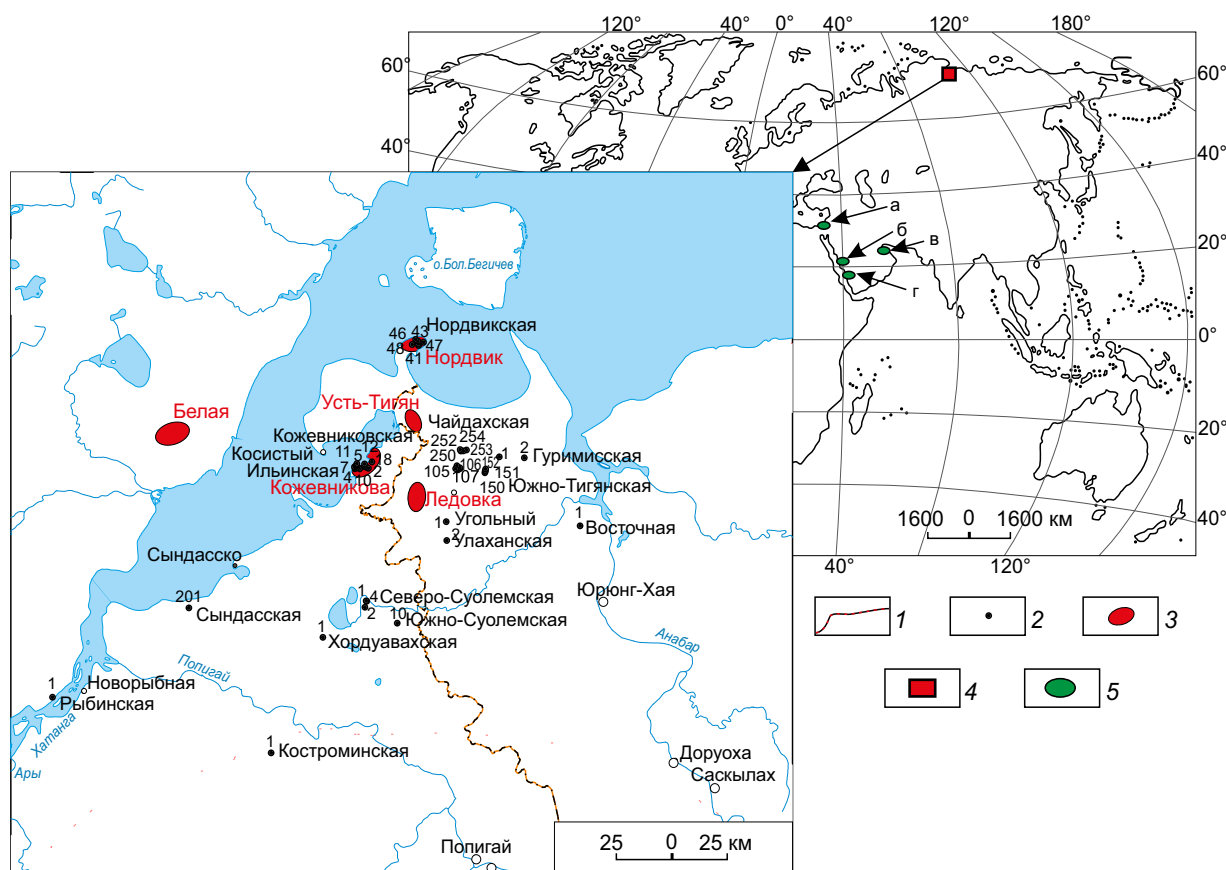


Рис. 1. Обзорная карта Анабаро-Хатангского бассейна:

1 – административные границы; 2 – изученные скважины; 3 – местоположение основных солянокупольных структур; 4 – район исследования; 5 – себхи: а – Бардавилль, б – Дждда, в – Джизан, г – Абу-Даби

Интерес недропользователей к АХБ в последние годы требует детального изучения гидрогеологических условий, учитывая, что здесь поисковые работы осложнены рядом факторов: мощная криогенная толща с криопэгмами (отрицательно-температурные солёные воды и рассолы с температурой от 0 до -12 °С), низкие температуры атмосферного воздуха большую часть года, отсутствие транспортной инфраструктуры и др. Гидрогеологическая изученность исследуемой территории крайне низка, нефтегазопроявления выявлены по всему разрезу. Остаётся нерешённым множество вопросов начиная от изучения процессов формирования химического и газового состава подземных вод и рассолов, криогенного метаморфизма рассолов, геотермической зональности, структуры гидродинамического поля и др. и, заканчивая разработкой гидрогеологических критериев нефтегазоносности. В настоящей работе рассмотрены палеогидрогеохимические аспекты этой многогранной проблемы.

Фактический материал и методика исследований. Палеогидрогеологические реконструкции осадочных бассейнов выполняются с середины прошлого века. Реконструкция гидрогеологической истории осадочного бассейна основывается на периодизации – выделении гидрогеологических циклов и этапов. Гидрогеологический цикл начинается с трансгрессии, включает в себя процессы осадконакопления с одновременным захоронением седиментационных вод, охватывает время последующего поднятия и регрессии и заканчивается новым погружением и трансгрессией. Первая часть гидрогеологического цикла (от начала трансгрессии до начала регрессии) образует седиментационный (элизионный) этап. Вторая часть гидрогеологического цикла – инфильтрационный этап, когда в осадочный бассейн проникают инфильтрационные воды, постепенно вытесняя и замещая седиментационные [3]. Ввиду несоответствия границ некоторых циклов границам крупных стратиграфических подразделений (эратемам, системам, отделам) их название было дано по приуроченности к общепринятым в стратиграфической шкале ярусам.

При проведении палеогидрогеохимических реконструкций АХБ в основу были положены палеогеографические карты, составленные сотрудниками ИНГГ СО РАН, и методика, предложенная Е.А.Басковым [1], некоторые аспекты которой были уточнены Я.В.Садыковой [13]. Она основывается на естественно-историческом подходе

и использовании современных гидрохимических эталонов при выборе величины минерализации и концентраций основных компонентов солевого состава сингенетичных вод древних морских и озёрно-аллювиальных бассейнов. При континентальном осадконакоплении в денудационных и денудационно-аккумулятивных областях (низкие горы, денудационные плато) преобладают процессы инфильтрации пресных метеогенных вод с минерализацией до $0,5$ г/дм³ и с преобладанием ионов HCO_3^- и Ca^{2+} . В пределах равнин инфильтрационный обмен приводит к формированию пресных и солоноватых инфильтрационных вод с минерализацией $0,5-2$ г/дм³ с преобладанием в составе ионов HCO_3^- и Ca^{2+} при повышенном содержании Cl^- и Na^+ . В областях переходного осадконакопления (прибрежное мелководье и прибрежно-морская равнина) происходит захоронение солоноватых вод с минерализацией $2-5$ г/дм³ и преобладанием в составе ионов Cl^- и Na^+ при повышенном содержании HCO_3^- и Ca^{2+} . В мелководно-морских обстановках (глубина до 50 м) захороняются сингенетичные солоноватые воды с минерализацией $5-15$ г/дм³ с преобладанием в составе ионов Cl^- и Na^+ при повышенном содержании ионов Mg^{2+} и Ca^{2+} . В более глубоководных частях бассейна солёность вод достигает $15-20$ г/дм³ и в составе преобладают ионы Mg^{2+} . В замкнутых бассейнах, лагунах, прибрежных себхах, солончаках или солёных озёрах минерализация захораниваемых вод достигает $50-400$ г/дм³, в составе преобладают ионы Cl^- и Na^+ . При испарительном концентрировании морской воды в закрытых бассейнах установлено 8 стадий [21, 22]: известняковая (величина общей минерализации $M=15-36$ г/дм³), доломитовая ($M=72-85$ г/дм³), гипсовая ($M=135-150$ г/дм³), галитовая ($M=320$ г/дм³), эпсомитовая ($M=400$ г/дм³), сильвинитовая ($M=410$ г/дм³), карналитовая ($M=440$ г/дм³), бишофитовая ($M=522$ г/дм³). Основной солью, осаждающейся при испарении морской воды, является галит (NaCl). Увеличение минерализации и плотности рассола происходит за счёт появления в нём всё более растворимых соединений. При этом сульфатно-хлоридная натриевая морская вода на стадии осаждения гипса становится хлоридной магниево-натриевой, эпсомита – сульфатно-хлоридной натриево-магниевой, карналита – хлоридной магниевой. Такой состав сохраняется и на заключительной эвтонической стадии галогенеза, когда из предельно насыщенного маточного раствора осаждаются

бишофит, а сам эвапоритовый бассейн прекращает своё существование.

Основой для научных исследований послужили фондовые и опубликованные материалы научных и производственных организаций (ИНГГ СО РАН, СНИИГГиМС, НИИГА, ЗАО «Координационный центр «РОСГЕОФИЗИКА»). Электронная база данных представлена результатами испытания 120 объектов 15 поисковых площадей, включает 255 анализов химического состава подземных вод и рассолов, 4 пробы водорастворённого газа, 3 пробы растворённого органического вещества. Также были использованы опубликованные материалы по геохимии поверхностных вод себх (замкнутых бессточных понижений, покрытых солончаками) и составлена электронная база, включающая в себя 163 анализа химического состава природных вод разных геохимических стадий развития бассейнов [22, 25–27, 29].

Геолого-гидрогеологические особенности. Анабаро-Хатангский бассейн характеризуется следующими ярковыраженными особенностями: наличием криолитозоны до 500 м, соляно-купольных структур и, как следствие, развитием высокоминерализованных рассолов и криопэггов [10]. Во время поисковых работ на нефть и газ в пределах изученных структур выявлены рассолы на Гуримисской, Ильинской, Кожевниковской, Костроминской, Нордвикской, Северо-Суодемской, Улаханской и Чайдахской площадях. Рассолы имеют хлоридный натриевый состав с общей минерализацией, варьирующей в широком интервале 52,3–350 г/дм³. Химический тип рассолов с повышенным содержанием кальция и минерализацией 54,6–144,6 г/дм³ выявлен в пределах водоносного комплекса рифейских отложений на Костроминской площади, венд-кембрийских на Северо-Суодемской и пермских на Улаханской и Северо-Суодемской площадях (рис. 2). В Анабаро-Хатангском бассейне развита криогенная толща мощностью до 600 м, в пределах которой широко распространены криопэги с величиной общей минерализации до 350 г/дм³. В целом исследуемый район характеризуется низкими геотермическими градиентами, в среднем 1,96°C/100 м [11].

В соответствии с результатами геологоразведочных работ прошлых лет и разработанной авторами данной статьи гидрогеологической стратификацией разреза в пределах АХБ выделены 11 водоносных комплексов (снизу вверх): 1) рифейский, 2) венд-кембрийский, 3) девонский, 4) каменноугольный, 5) пермский, 6) триасовый,

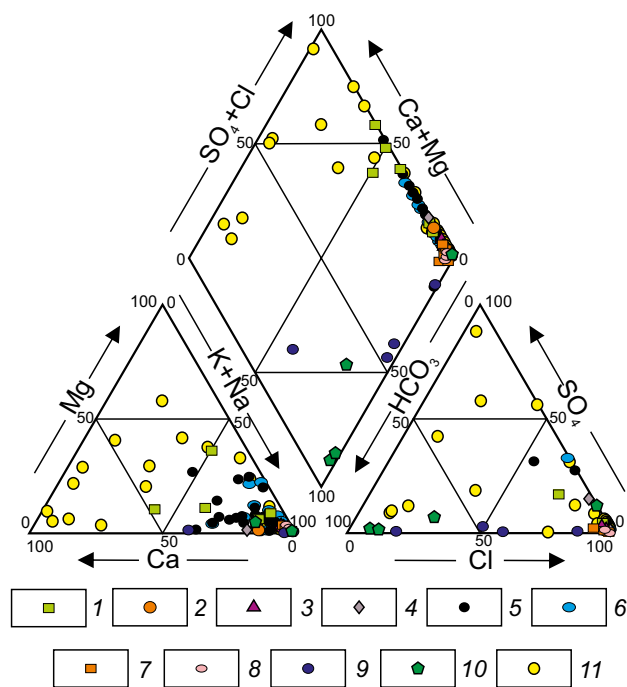


Рис. 2. Диаграмма Пайпера состава подземных вод Анабаро-Хатангского бассейна:

гидрогеологические комплексы: 1 – рифейский, 2 – венд-кембрийский, 3 – девонский, 4 – каменноугольный, 5 – пермский, 6 – триасовый, 7 – нижне-среднеюрский, 8 – верхнеюрский, 9 – неокомский, 10 – апт-альб-сеноманский, 11 – четвертичных аллювиальных и ледниковых отложений

7) нижне-среднеюрский, 8) верхнеюрский, 9) неокомский, 10) апт-альб-сеноманский, 11) водоносный комплекс четвертичных аллювиальных и ледниковых отложений.

Водоносный комплекс четвертичных аллювиальных и ледниковых отложений отличается широким разнообразием химического состава подземных вод (от гидрокарбонатного кальциевого до хлоридного натриевого), а также большим диапазоном изменения общей минерализации от 0,1 до 333 г/дм³.

В связи с наличием в бассейне мощной (до 500–600 м) криогенной толщи верхние водоносные горизонты в меловых, юрских и верхней части триасовых отложений заморожены. Апт-альб-сеноманский водоносный комплекс представлен подземными водами гидрокарбонатного натриевого состава, реже – хлоридного натриевого с минерализацией 0,5–3,0 г/дм³. Водорастворённые газы в основном метанового состава. Воды неокомского водоносного комплекса имеют

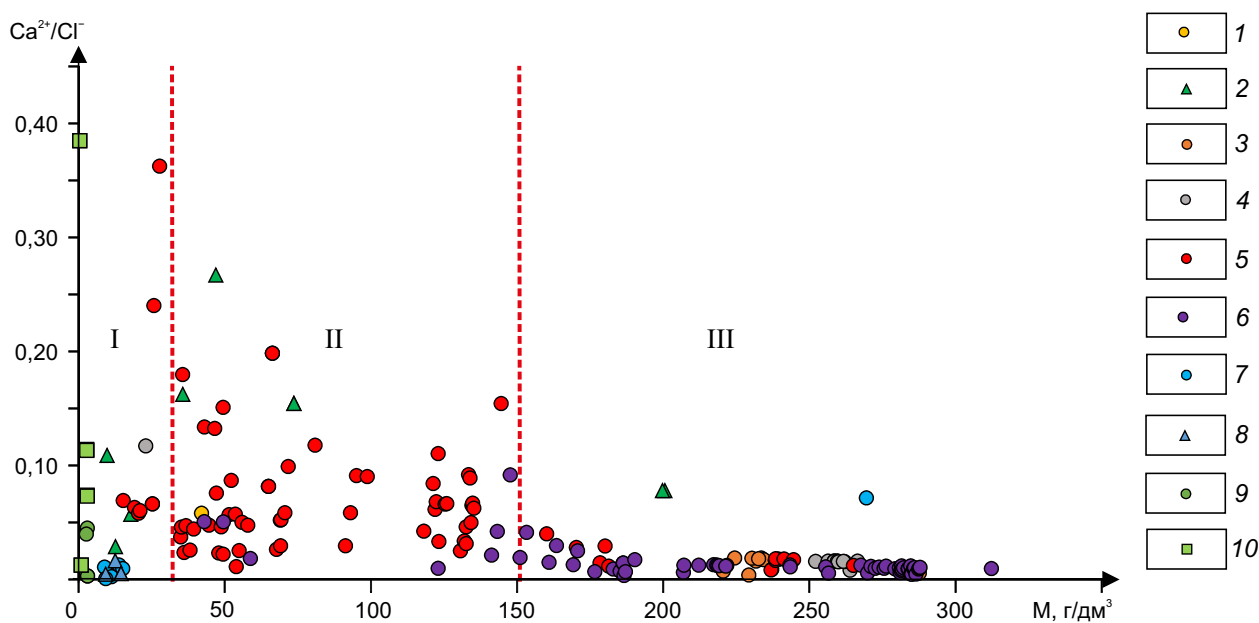


Рис. 3. Зависимость Ca/Cl от величины общей минерализации подземных вод Анабаро-Хатангского бассейна:

водоносные комплексы: 1 – рифейский, 2 – венд-кембрийский, 3 – девонский, 4 – каменноугольный, 5 – пермский, 6 – триасовый, 7 – нижне-среднеюрский, 8 – верхнеюрский, 9 – неокомский, 10 – апт-альб-сеноманский; генетические типы: I – древних инфильтрационных вод, II – рассолов смешанных с высокометаморфизованными, III – рассолов выщелачивания каменной соли

хлоридный натриевый, реже хлоридно-гидрокарбонатный натриевый, гидрокарбонатно-хлоридный натриевый и гидрокарбонатный кальциево-натриевый составы. Общая минерализация варьирует в пределах 2,7–8,7 г/дм³. Воды верхнеюрского водоносного комплекса хлоридные и гидрокарбонатно-хлоридные натриевые метановые с минерализацией от 7 до 16 г/дм³. Подземные воды нижне-среднеюрского водоносного комплекса были изучены на Нордвикской площади. Они хлоридные натриевые с минерализацией до 305 г/дм³. На расположенной восточнее Рассохинской площади в пределах Енисей-Хатангского регионального прогиба воды хлоридные натриевые с довольно низкой минерализацией от 8 до 15 г/дм³. Многочисленными скважинами, пройденными в непосредственной близости от соляных штоков, в песчаниках и алевролитах триасового водоносного комплекса на глубинах 70–80 м вскрыты порово-трещинно-пластовые и жильные скопления рассолов хлоридного натриевого состава с минерализацией до 312 г/дм³.

В пермских отложениях развиты главным образом порово-трещинно-пластовые скопления

солёных вод и рассолов хлоридного натриевого состава. В отдельных пробах установлены воды хлоридного натриево-кальциевого и гидрокарбонатно-хлоридного натриевого состава. Водоносность пермских отложений изучена на Нордвикской, Ильинской, Чайдахской и других антиклинальных структурах, в разной степени осложнённых соляной тектоникой. В их пределах установлено наличие рассолов в основном хлоридного натриевого и натриево-кальциевого составов с минерализацией от 52 до 135 г/дм³, величина Ca/Cl составляет до 0,37 (рис. 3).

Хлоридные натриевые рассолы с минерализацией более 238 г/дм³ установлены в пермских терригенных и угленосных отложениях на Нордвикском соляном куполе. В АХБ каменноугольные отложения изучены весьма слабо. Скважинами в районе Нордвикского соляного купола в известняках нижнего карбона вскрыты хлоридные натриевые рассолы с минерализацией до 237–266 г/дм³, на Южно-Суолемской площади минерализация ниже на математический порядок и не превышает 23,1 г/дм³. Отложения девонского водоносного комплекса изучены бурением

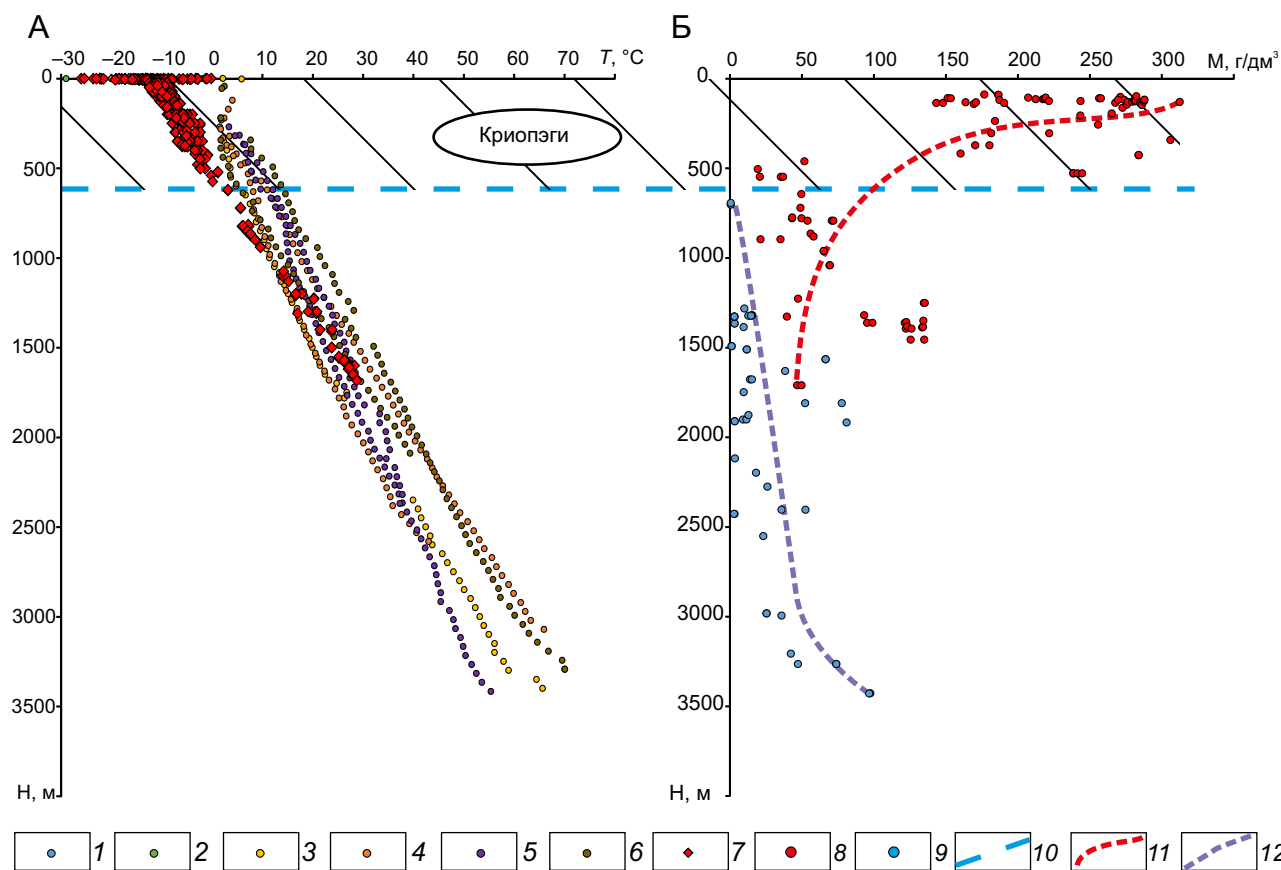


Рис. 4. Характер вертикальной геотермической (А) и гидрогеохимической (Б) зональности в пределах Анабаро-Хатангского бассейна:

1–6 – термометрия скважин: 1 – Ильинская № 111, № 38, Кожевниковская № 3, № 4, № 11, 2 – Нордвикская № 401, № 38, № 1, 3 – Чайдахская № 250, Южно-Тигянская № 1, 4 – Гурымисская № 2, 5 – Северо-Суолемская № 2, 6 – Улаханская № 2; 7 – точечные замеры пластовых температур; величина общей минерализации подземных вод и рассолов в пределах зон: 8 – распространения солянокупольных структур и 9 – отсутствия солей; 10 – нижняя граница распространения криогенной толщи; 11 – инверсионная вертикальная зональность в зонах распространения солянокупольных структур; 12 – прямая вертикальная зональность в зонах отсутствия солей

на Нордвикской и Кожевниковской площадях. По химическому составу воды хлоридные натриевые с величиной общей минерализации 220–287 г/дм³. В гидрогеохимическом отношении водоносный комплекс венд-кембрийских отложений изучен на Северо-Суолемской, Костроминской и Хастахской площадях. По химическому составу подземные воды хлоридные кальциево-натриевые, натриево-кальциевые и хлоридные натриевые с общей минерализацией до 10 г/дм³ на Костроминской и 36,2–73,9 г/дм³ на Северо-Суолемской площадях. На последней отмечаются высокие содержания йода 51,48 мг/дм³, брома 62,76 мг/дм³ и Ca/Cl 0,15–0,27. В пределах АХБ водоносный комплекс рифейских отложений из-

учен на Хастахской площади. По химическому типу воды хлоридные натриевые, хлоридные кальциево-натриевые с величиной общей минерализации 42 г/дм³.

Ранее в обобщающей работе по нефтегазоносным бассейнам арктических районов Сибири было показано, что в Анабаро-Хатангском бассейне широко распространены подземные воды и рассолы нескольких генетических групп [23]: I – зоны активного водообмена, II – отложений с отсутствием галогенных пород, III – отложений с галогенными формациями и IV – районов распространения солянокупольных структур. В Анабаро-Хатангском бассейне установлено доминирование в разрезе двух генетических типов

рассолов: 1) выщелачивания солей и 2) седиментогенных. В отложениях апт-альб-сеноманского, неокомского и верхнеюрского комплексов развиты древние инфильтрационные воды. Наибольшим распространением в водоносных горизонтах ниже-среднеюрского, триасового, пермского и каменноугольного комплексов пользуются рассолы первого типа (преимущественно хлоридного натриевого состава) с величиной общей минерализации 50–350 г/дм³, генетически связанные с процессами растворения каменной соли в контактовых зонах солянокупольных структур. Седиментогенные рассолы хлоридного натриевого-кальциевого состава с минерализацией 55–145 г/дм³ установлены в водоносных горизонтах венд-кембрийского и рифейского комплексов и являются результатом смешения глубокозалегающих высокометаморфизованных рассолов с более пресными древними инфильтрационными водами (см. рис. 3).

Рассматривая АХБ, нельзя не упомянуть о криогенной толще мощностью до 500–600 м и более, которая здесь по своему строению неоднородна, имеет в разрезе и по площади целый ряд переходов и изменений. Являясь региональным водоупором, она обуславливает криогенный напор содержащихся в них вод, что не может не сказаться на геотермическом режиме недр, залежах углеводородов и их разработке. В пределах Анабаро-Хатангского бассейна установлено наличие криопэггов, вкрапленных в криолитозону, которые создают ряд трудностей, например, при строительстве различных конструкций или бурении скважин.

Установлено, что в разрезе соляно-гипсовых и терригенных отложений пластовые температуры с глубиной монотонно растут (рис. 4). Выделяется три геотермических зоны. В первой круглогодично происходят сезонные колебания температур с положительных на отрицательные, что приводит к изменению фазового состояния свободной воды. Она включает в себя деятельный слой до 1 м и криогенной толщи до 20 м – граница годовой нулевой амплитуды с температурой до –12°C. Ниже по разрезу выделяется зона развития мёрзлых и охлаждённых пород. Она представляет собой породы, монолитно сцементированные льдом, с жилами, клиньями, линзами, гнёздами, прослоями и пластами ископаемых льдов. Часто встречаются пласты и целые пачки песчаников, насыщенных криопэгами. Эти пласты сильно охлаждённых, но всё же талых по-

род представляют псевдоталики. Они наблюдаются под котловинами крупных озёр и под руслами крупных рек. Во второй зоне можно выделить верхнюю (глубина залегания до 200 м) и нижнюю подзоны (примерно до 570 м). Верхняя подзона охарактеризована средним геотермическим градиентом равным 1,5°C/100 м и геотермической ступенью – 66,7 м/1°C. Именно здесь развиты крепкие рассолы юрских и триасовых отложений с общей минерализацией от 145 до 300 г/дм³ (см. рис. 4). Нижняя подзона залегает на глубине нулевой температуры от 540 м в скв. К-402 на п-ве Юрюнг-Тумус до 570 м в скв. Р-1 на мысе Илья. Геотермический градиент и ступень равны 2,16°C/100 м и 46,3 м/1°C, соответственно. Подошва монолитно сцементированных льдом пород залегает значительно выше нулевой изотермы. В некоторых скважинах льдистость пород в керне фиксировалась до глубины 300 м, а на п-ве Юрюнг-Тумус вблизи соляного штока только до 80 м. В третьей зоне величины геотермического градиента могут достигать до 2,55°C/100 м.

Палеогидрогеологические реконструкции.

При проведении палеогидрогеологических исследований решалось две задачи. Первоначально была составлена схема периодизации гидрогеологической истории Анабаро-Хатангского бассейна с выделением гидрогеологических циклов и этапов. Затем были выполнены палеогидрогеохимические реконструкции. Результаты палеогидродинамического анализа в настоящей работе не освещены, поскольку составляют отдельный большой блок исследований.

В гидрогеологической истории исследуемого региона можно выделить 12 гидрогеологических циклов (рис. 5): архейско-карелийский (I); рифейско-нижневендский (II), верхневендско-силурийский (III), нижнедевонский (IV), среднедевонско-каменноугольный (V), пермско-нижне-оленёкский (VI), верхнеоленекский (VII); средне-триасовый (VIII), карнийско-нижнерэтский (IX), верхнерэтский (X), юрско-эоплейстоценовый (XI) и неоплейстоценово-голоценовый (XII). Дадим краткую характеристику каждого из них.

Архейско-карелийский цикл (I) связан с формированием отложений кристаллического фундамента и началом образования плитного комплекса, доминированием процессов инфильтрации атмосферных осадков. В начале раннего рифея произошла крупная трансгрессия, охватившая всю территорию исследования и ознаменовавшая начало нового рифейско-нижневендского гидрогеологи-

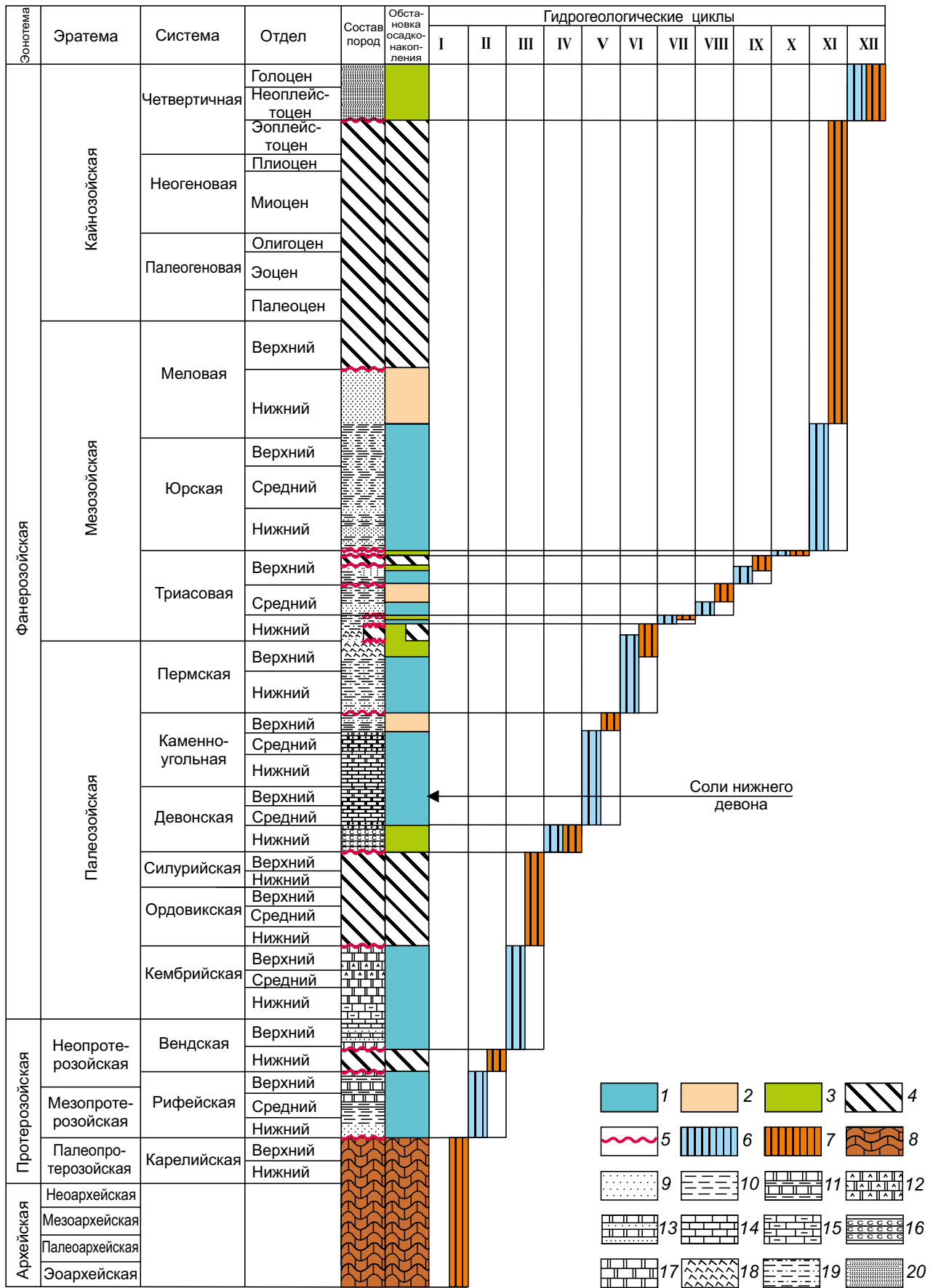


Рис. 5. Периодизация гидрогеологической истории Анабаро-Хатангского бассейна:

1–3 – обстановки осадконакопления: 1 – морская, 2 – континентальная, 3 – переходная; 4–5 – зоны: 4 – отсутствия отложений, 5 – размыва и несогласного залегания пластов; гидрогеологические этапы: 6 – элизионный, 7 – инфильтрационный; 8–20 – состав пород: 8 – породы кристаллического фундамента, 9 – песчаники, 10 – аргиллиты, 11 – переслаивание доломитов и аргиллитов, 12 – ангидриты, 13 – переслаивание доломитов и песчаников, 14 – известняки, 15 – глинистые известняки, 16 – соленосная толща, 17 – доломиты, 18 – туфы, 19 – переслаивание аргиллитов и алевролитов, 20 – четвертичные отложения, преимущественно пески, супеси, суглинки

ческого цикла (II). Шли процессы терригенно-карбонатной седиментации и захоронения сингенетических морских вод – элизионный этап. Отсутствие отложений нижнего венда следует связывать с инфильтрационным этапом.

Для верхневендско-силурийского цикла (III) характерен длительный элизионный этап с преимущественно карбонатной седиментацией, закончившейся ордовикско-силурийским перерывом в осадконакоплении. В позднесилурийское время исследуемый регион представлял собой возвышенную сушу, в пределах которой активно протекали процессы эрозии и денудации, преобладал инфильтрационный водообмен, повсеместно захоранивались пресные метеогенные воды гидрокарбонатного кальциевого состава. Суша была окаймлена с севера и запада мелководным шельфом, где формировались карбонатные (известняки) и карбонатно-глинистые породы и протекали процессы испарения морской воды. Подобные обстановки просуществовали до начала эмского века (IV), связанного с началом обширной трансгрессии, максимуму которой соответствует морская карбонатная толща юктинской свиты. Интенсивное соленакопление в Нордвикской части бассейна происходило в эмское-эйфельское время. В её пределах сформировался закрытый бассейн, рапа которого достигала величины общей минерализации до 330 г/дм^3 , захоранивались воды хлоридного натриевого, хлоридного кальциевого и хлоридного магниевых составов (рис. 6, А). На юго-востоке АХБ преобладали обстановки низменной равнины. В процессе инфильтрации захоранивались воды с минерализацией $0,5\text{--}2 \text{ г/дм}^3$ с преобладанием в составе ионов Ca^{2+} и HCO_3^- . На остальной территории существовал мелководный бассейн, где солёность вод достигала

30–35 г/дм^3 и в составе преобладали ионы Cl^- и Na^+ . В позднем живете начался регрессивный этап развития бассейна, солёность инфильтрационных вод не превышала 2 г/дм^3 . С франского века (V) начался новый трансгрессивный этап, в течение которого морской бассейн значительно расширился. В наиболее открытых его частях накапливались карбонатные породы с соленоватыми водами с минерализацией $5\text{--}15 \text{ г/дм}^3$ и преобладанием в составе ионов Cl^- и Na^+ . В фамене регрессия охватила все бассейны севера Сибири, обстановки стали более мелководными, Нордвикский район представлял собой карбонатную платформу, в пределах которой формировались известняки.

В пермско-нижнеолёнокском цикле (VI) выделяется пермский элизионный этап, проходивший в условиях морского терригенного осадконакопления. В индское время исследуемая территория представляла собой в основном мелкое море, ограниченное с юга прибрежно-морской равниной и аллювиально-озёрной равниной на юго-востоке. Практически повсеместно захоранивались сингенетические соленоватые воды с минерализацией $5\text{--}15 \text{ г/дм}^3$ и преобладанием в составе ионов Cl^- и Na^+ при повышенном содержании ионов Mg^{2+} и Ca^{2+} . В середине оленёкского века заканчивается пермско-нижнеолёнокский цикл и начинается верхнеолёнокский (VII), когда на юго-востоке АХБ протекают процессы терригенного осадконакопления. Установлен перерыв на границе оленёкского и анизийского веков [17].

В среднем триасе (VIII) район исследования испытывал постепенный переход от морских условий седиментогенеза к континентальным (см. рис. 6, Б). В анизийско-ландинское время в северной части АХБ располагался мелководный бассейн и захоранивались сингенетические соленоватые воды с минерализацией $5\text{--}15 \text{ г/дм}^3$ с преобладанием в составе ионов Cl^- и Na^+ при повышенном содержании ионов Mg^{2+} и Ca^{2+} . Центральные районы характеризовались обстановками переходного осадконакопления, где захоранивались соленоватые воды с минерализацией $2\text{--}5 \text{ г/дм}^3$ с преобладанием в составе ионов Cl^- и Na^+ при повышенном содержании Ca^{2+} и HCO_3^- . В верхнем триасе можно выделить два гидрогеологических цикла. Карнийско-нижнерэтский (IX) характеризуется регрессией морского бассейна, которая привела к перерыву в осадконакоплении в период с середины нория до середины рэта и преобладанием инфильтрационных процессов. Верхнерэтский (X) с одновременным протеканием

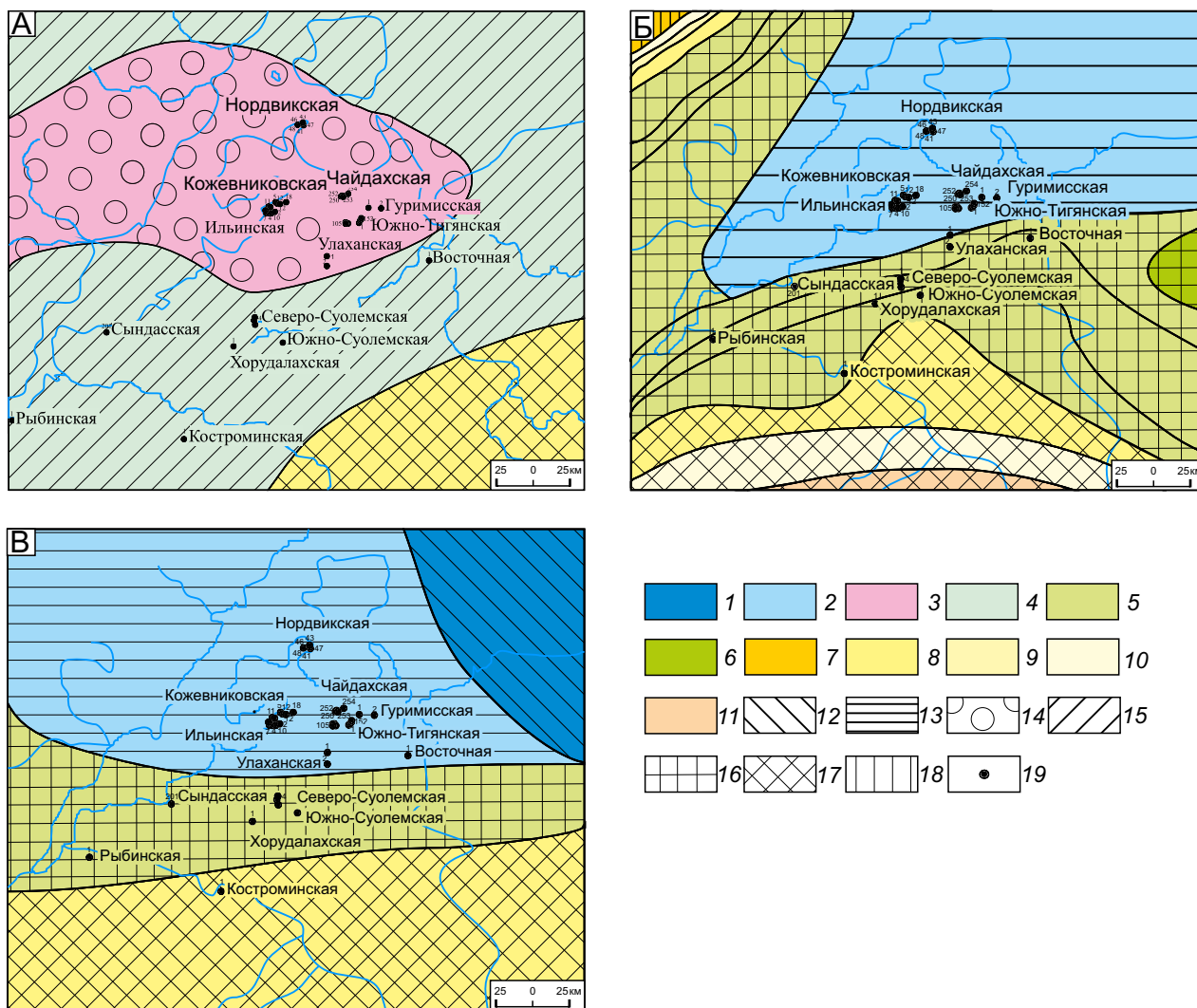


Рис. 6. Палеогидрогеохимическая карта на: (А) эмское-эйфельское (ранний-средний девон), (Б) анизийское-ладинское (средний триас) и (В) геттанг-келовейское (ранняя и средняя юра) время. Палеогеографическая основа по материалам ИНГГ СО РАН, 2011:

палеогеографические области: 1–4 – области морского осадконакопления: 1 – море, мелкая часть шельфа и прибрежная зона (50–100 м), 2 – море мелкое, островная часть шельфа (0–50 м), 3 – замкнутый бассейн, лагуна, прибрежная себха, солончак или солёное озеро, 4 – замкнутый или полузамкнутый внутришельфовый бассейн; 5–6 – области переходного осадконакопления: 5 – прибрежно-морская равнина (0–50 м), 6 – прибрежное мелководье (0–20 м); 7–11 – области континентального осадконакопления: 7 – горы низкие (500–700 м), 8 – аллювиально-озёрная равнина (20–100 м), 9 – равнина холмистая (100–200 м), 10 – равнина возвышенная денудационная (200–300 м), 11 – денудационное плато (300–500 м); 12–18 – палеогидрогеохимические зоны формирования: 12 – солёные (талассогенные) воды с минерализацией 15–20 г/дм³ с преобладанием в составе ионов Mg²⁺, 13 – солоноватые воды с минерализацией 5–15 г/дм³ с преобладанием в составе ионов Cl⁻ и Na⁺ при повышенном содержании ионов Mg²⁺ и Ca²⁺, 14 – рассольные воды с минерализацией 50–400 г/дм³, с преобладанием в составе ионов Cl⁻ и Na⁺, 15 – солёные воды с минерализацией 35–50 г/дм³ с преобладанием в составе ионов Cl⁻ и Na⁺, 16 – солоноватые воды с минерализацией 2–5 г/дм³ с преобладанием в составе ионов Cl⁻ и Na⁺, при повышенном содержании HCO₃⁻ и Ca²⁺, 17 – пресные и солоноватые инфильтрационные воды с минерализацией 0,5–2 г/дм³ с преобладанием в составе ионов HCO₃⁻ и Ca²⁺ при повышенном содержании Cl⁻ и Na⁺, 18 – пресные инфильтрационные воды с минерализацией до 0,5 г/дм³ с преобладанием ионов HCO₃⁻ и Ca²⁺; 19 – скважины

элизионных и инфильтрационных процессов в прибрежно-морских условиях и захоронением солоноватых вод с минерализацией 2–5 г/дм³, закончившийся перерывом в осадконакоплении.

На протяжении всей юры и раннего неокома (XI) на территории Анабаро-Хатангского бассейна (см. рис. 6, В) проходило спокойное терригенное морское осадконакопление [5, 8]. В геттанге и синемюре север территории исследования представлял собой прибрежно-морскую равнину, в пределах которой захоранивались солоноватые воды с минерализацией 2–5 г/дм³ преимущественно хлоридного натриевого состава с высоким содержанием кальция и гидрокарбонат-иона [5, 16]. В центральной и южной частях формировались пресные и солоноватые инфильтрационные воды с минерализацией 0,5–2 г/дм³ с преобладанием в составе ионов Ca²⁺ и HCO₃⁻ при повышенном содержании Cl⁻ и Na⁺. В плинсбахское время на большей части территории захоранивались солёные воды с минерализацией 5–15 г/дм³ преимущественно хлоридного натриевого состава. В тоаре на территории исследования мелководное море затопило денудационную равнину, теперь его ограничивало лишь денудационное плато, расположенное в пределах современного Таймыра. Повсеместно захоранивались воды с минерализацией 5–15 г/дм³. В байосе совместно с осадками захоранивались солёные таласогенные воды с минерализацией 5–15 г/дм³. В западной части территории захоранивались таласогенные хлоридные натриевые воды солёностью 15–20 г/дм³. Хатангское море обрамляли возвышенные части суши в виде денудационных равнин и плато. В батский век Анабаро-Хатангский бассейн представлял собой мелководно-морской бассейн, где совместно с отложениями захоранивались солоноватые воды с минерализацией 2–5 г/дм³.

В позднем готериве началась очередная крупная регрессия, сопровождаемая континентальными условиями осадконакопления практически на всей территории исследования в период с баррема по ранний сеноман [9]. До неоплейстоцена Анабаро-Хатангский бассейн представлял собой денудационное плато – инфильтрационный этап. Начиная с неоплейстоцена (XII) район подвергался воздействию многочисленных оледенений.

Как показали результаты палеогеохимических реконструкций изучаемого района, в течение всего геологического времени подземные воды претерпевали различные и сложные изменения, но современный химизм подземных вод во мно-

гом носит унаследованный характер. На территории исследования установлены различные обстановки осадконакопления и разные генетические типы подземных вод.

В понимании особенностей геохимии современных рассолов АХБ во многом поможет изучение гидрогеохимических процессов, протекающих при соленакоплении в аридном и семиаридном климате. Схожие условия седиментации в настоящее время наблюдаются в себхах Ближнего Востока. Результаты обобщения гидрохимии поверхностных вод и рассолов себх Абу-Даби, Дждда, Джизан, Бардавил [22, 25–27, 29] позволили выявить характер изменения содержания основных ионов в зависимости от величины их общей минерализации. Содержание магния в водах увеличивается с ростом их минерализации. В себхах Бардавил и Джизан с ростом минерализации уменьшается содержание гидрокарбонат-иона (от 0,35 до 0,07 г/дм³) и кальция (от 28 до 0,8 г/дм³), в то время как в себхе Дждда отмечается рост гидрокарбонат-иона (от 0,03 до 0,79 г/дм³) и снижение содержания кальция (от 1,7 до 0,1 г/дм³). Также отмечен закономерный рост значений коэффициента rNa/rCl с ростом минерализации (от 0,29 до 1,05) до стадии садки галита (300–320 г/дм³) и дальнейшее его снижение (до 0,18) в водах с преобладанием иона магния на стадиях садки сильвина, карналлита и бишофита в АХБ, себхах Бардавил, Абу-Даби (рис. 7).

В водах и рассолах себх бассейнов Джизан и Дждда значения коэффициента rNa/rCl значительно ниже значений стадий садки кальцита, доломита, гипса и галита. В целом значения rNa/rCl коэффициента во всех типах вод изменяются от 0,70 до 0,95 до стадии садки гипса, затем увеличиваются до стадии садки галита и при достижении минерализации 300–320 г/дм³ уменьшаются до 0,2 (см. рис. 6). За счёт процессов солнечного концентрирования в рассолах себхи Бардавил преобладают ионы хлора и натрия, что сопровождается осаждением галита. В себхах Джизан, Абу-Даби и Дждда начинает выпадать из раствора сильвин, а в растворе преобладают ионы хлора и магния. Химический состав и распределение основных генетических коэффициентов в подземных рассолах Анабаро-Хатангского бассейна во многом схожи с современными условиями себх Дждда и Бардавил, где отлагаются гипсовые строматолиты и галитовые шевроны [26, 29].

Резюмируя вышесказанное, следует отметить, что палеогеографические обстановки во многом

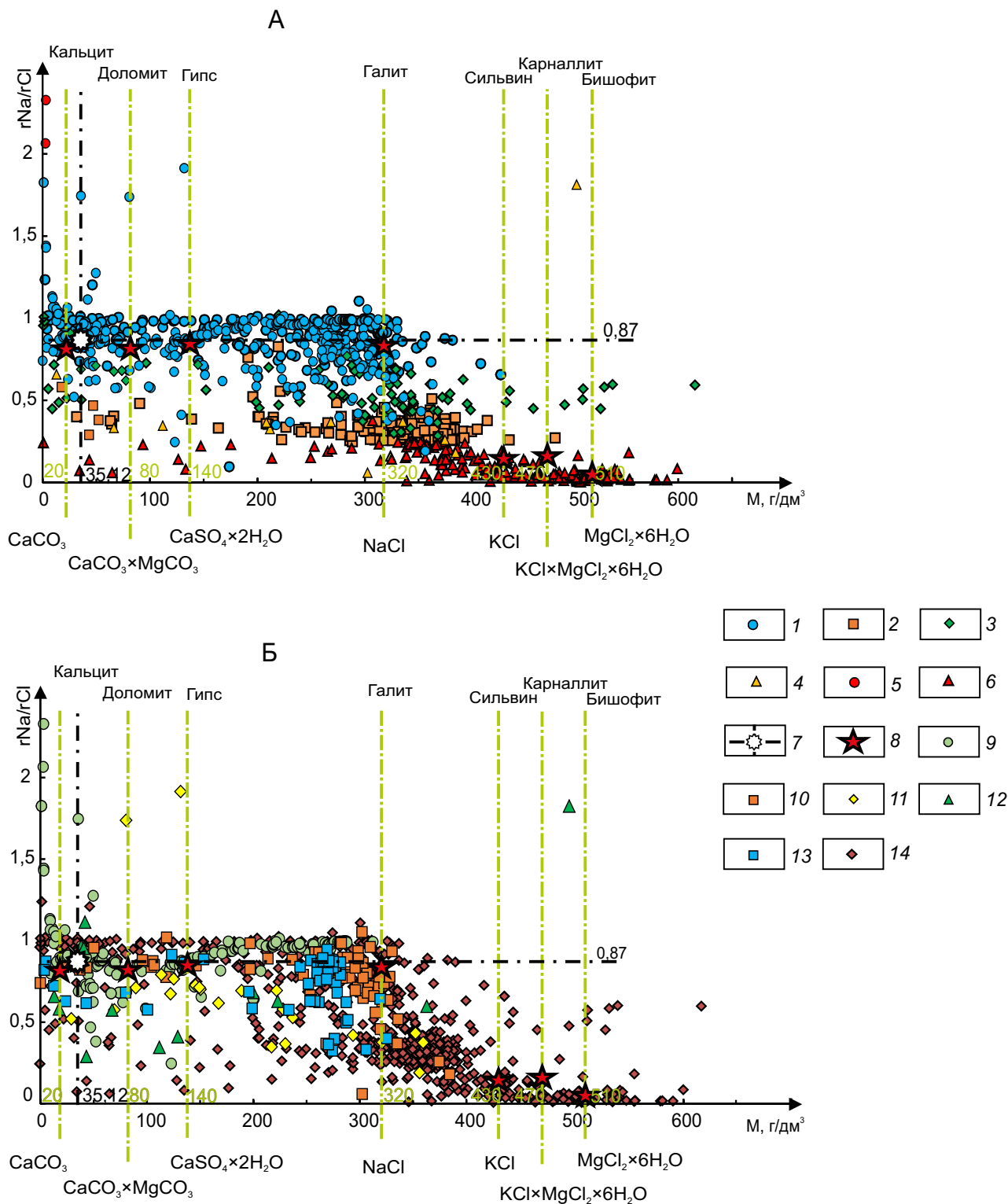


Рис. 7. Изменение значений rNa/rCl коэффициента с ростом общей минерализации подземных вод и рассолов в зависимости от химического типа вод (А) и гидрогеохимического эталона (Б):

А: 1 – Cl Na, 2 – Cl Ca-Na, 3 – Cl Na-Ca, 4 – Cl Mg, 5 – HCO_3 Na, 6 – Cl Ca, 7 – морская вода; 8 – rNa/rCl коэффициент стадий садки;
 Б: 9 – Анабаро-Хатангский бассейн, 10 – себха Абу-Даби, 11 – бассейн Джедда, 12 – бассейн Джизан, 13 – себха Бардавилль, 14 – Сибирская платформа

определяют химизм сингенетических вод. Морские воды уже на начальных стадиях захоронения претерпевают значительные изменения химизма, скорость которых зависит от состава осадков, обогащённости осадка органическим веществом, гидродинамического режима и скорости седиментации. Механизм уплотнения осадков запускается на иловой стадии, как только иловые осадки оказываются гидродинамически изолированными от вод исходного морского бассейна. По мере развития осадочного бассейна и возрастания геостатических нагрузок, осадки уплотняются и из них отжимаются сингенетические пластовые воды, которые затем поступают в песчаные пласты. Элизионные воды глин в коллекторах смешиваются с исходными седиментационными. На больших глубинах (от 3 км и более) происходит также выжимание связанной воды пониженной минерализации за счёт процессов термодегидратации глинистых минералов [4]. Детальный анализ эволюции Анабаро-Хатангского бассейна позволил реконструировать его гидрогеологическую историю и выделить 12 гидрогеологических циклов. Юрско-эоплейстоценовый цикл является наиболее продолжительным. Он характеризовался доминированием континентальных условий седиментации с продолжительным инфильтрационным этапом (от нижнего мела до неоплейстоцена). При этом соли, сформированные во время нижнедевонского гидрогеологического цикла, оказывают ключевое влияние на химический состав и вертикальную гидрогеохимическую зональность районов распространения солянокупольных структур в пределах АХБ.

Исследования проводились при финансовой поддержке проекта ФНИ № 0331–2019–0025 «Геохимия, генезис и механизмы формирования состава подземных вод арктических районов осадочных бассейнов Сибири» и Российского фонда фундаментальных исследований в рамках научного проекта № 18–05–70074 «Ресурсы Арктики».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Басков Е. А. Основы палеогидрогеологии рудных месторождений. – Л.: Недра, 1983. – 263 с.
2. Валяшко М. Г. Геохимические закономерности формирования месторождений калийных солей. – М.: Изд-во МГУ, 1962. – 403 с.
3. Карцев А. А. Гидрогеология нефтяных и газовых месторождений: учебное пособие для вузов. – М.: Гостоптехиздат, 1963. – 353 с.
4. Карцев А. А., Вагин С. Ю., Басков Е. А. Палеогидрогеология. – М.: Недра, 1969. – 150 с.
5. Кох А. А. Палеогидрогеологические реконструкции юрско-меловых отложений западной части Енисей-Хатангского регионального прогиба // Отечественная геология. – 2014. – № 2. – С. 77–86.
6. Московский Г. А., Гончаренко О. П., Свидзинский С. А. Основные черты гидрохимии пермского галогенеза Прикаспия // Известия Саратовского университета. – 2011. – Т. 11, № 1. – С. 69–75.
7. Никаноров А. М., Волобуев Г. П., Барцев О. Б. Палеогидрогеологические реконструкции нефтегазоносных бассейнов. – М.: Недра, 1975. – 192 с.
8. Никитенко Б. Л., Князев В. Г., Лебедева Н. К. и др. Проблемы стратиграфии оксфорда и кимериджа на севере Средней Сибири (разрез полуострова Нордвик) // Геология и геофизика. – 2011. – Т. 52, № 9. – С. 1222–1241.
9. Никитенко Б. Л., Шурыгин Б. Н., Князев В. Г. и др. Стратиграфия юры и мела Анабарского района (Арктическая Сибирь, побережье моря Лаптевых) и бореальный зональный стандарт // Геология и геофизика. – 2013. – Т. 54, № 8. – С. 1047–1082.
10. Новиков Д. А. Особенности состава рассолов Анабаро-Ленской зоны // «Седьмые Саксовские чтения»: материалы научной сессии, посвященной 100-летию со дня рождения члена-корреспондента АН СССР В. Н. Сакса. – Новосибирск: ИНГГ СО РАН. – 2011. – Т. I. – С. 209–213.
11. Новиков Д. А., Кох А. А., Садыкова Я. В., Сухорукова А. Ф. Гидрогеология и геотермия докембрийских и фанерозойских отложений Анабаро-Ленского региона // Материалы научно-практической конференции «Нефтегазогеологический прогноз и перспективы развития нефтегазового комплекса Востока России». – СПб.: ФГУП «ВНИГРИ», 2013. – С. 224–229.
12. Садыкова Я. В., Новиков Д. А. Палеогидрогеологические реконструкции верхнеюрских отложений южных районов Обь-Иртышского междуречья // Нефть и газ. – 2010. – № 1. – С. 19–28.
13. Садыкова Я. В. О факторах формирования состава подземных вод ниже-среднеюрских отложений восточной части Енисей-Хатангского регионального прогиба и Анабаро-Хатангской седловины // ГЕО-Сибирь-2011. Недропользование. Горное дело. Новые направления и технология поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых: сборник материалов VII между-

- народного научного конгресса. – Новосибирск, 2011. – С. 102–106.
14. Садыкова Я. В. Палеогидрогеохимические реконструкции нефтегазоносных отложений полуострова Гыдан // Отечественная геология. – 2016. – № 1. – С. 16–24.
 15. Садыкова Я. В., Дульцева М. Г. Роль палеогидрогеохимических факторов в формировании состава подземных вод нефтегазоносных отложений северо-восточной части Большехетской мегасинеклизы // Водные ресурсы. – 2017. – Т. 44, № 2. – С. 168–181.
 16. Садыкова Я. В. Периодизация гидрогеологической истории Анабаро-Хатангской, Лено-Анабарской и Лаптевской нефтегазоносных областей // Интерэкспо Гео-Сибирь. Недропользование. Горное дело. Направления и технологии поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых. Геоэкология: сборник материалов XIII международного научного конгресса. – Новосибирск, 2017. – Т. 2, № 1. – С. 171–176.
 17. Сакс В. Н., Грамберг Н. С., Ронкина З. З., Аплонова Э. Н. Мезозойские отложения Хатангской впадины. – Л.: Гостоптехиздат, 1959. – 226 с.
 18. Соколовский Л. Г., Поляков В. А., Тимохин В. Г., Алибекова С. В. Оценка условий формирования и защищенности от техногенного загрязнения подземных вод Восточно-Предкавказского артезианского бассейна // Разведка и охрана недр. – 2010. – № 7. – С. 24–31.
 19. Чирвинский П. Н. Палеогидрогеология // Проблемы современной геологии. – 1933. – Т. 3, № 8. – С. 107–122.
 20. Шестов И. Н., Тюрина И. М., Шувалов В. М. Влияние палеогидрогеологических условий на формирование нефтегазоносных месторождений Пермского Прикамья // Вестник Пермского университета. – 2008. – № 10. – С. 16–19.
 21. Hendry J. M., Barbour S. L., Novakowski K., Wassenaar L. I. Paleohydrogeology of the Cretaceous sediments of the Williston Basin using stable isotopes of water // Water resources research. – 2013. – № 49. – P. 4580–4592.
 22. Mohammed H. B., Mahmoud A. A. Composition and origin of the sabkha brines, and their environmental impact on infrastructure in Jizan area, Red Sea Coast, Saudi Arabia // Environ Earth Sci. – 2016. – Vol. 75, № 105. – P. 17.
 23. Novikov D. A. Hydrogeochemistry of the Arctic areas of Siberian petroleum basins // Petroleum Exploration and Development. – 2017. – Vol. 44, № 5. – P. 780–788.
 24. Novikov D. A., Chernykh A. V., Dultsev F. F. Paleohydrogeochemistry of the Upper Jurassic Deposits of the Arctic Regions of the West Siberian Megabasin // Journal of Physics: Conference Series. International Conference on Applied Physics, Power and Material Science (Secunderabad, Telangana, India, 5–6 December 2018). – 2019. – Vol. 1172. № 012094.
 25. Rosenthal E., Flexer A., Moller P. The paleoenvironment and the evolution of brines in the Jordan-Dead Sea transform and in adjoining areas // International Journal of Earth Sciences. – 2006. – № 95. – P. 725–740.
 26. Rushdi J. T., Mahmoud A. A. Hydrochemistry, evolution, and origin of brines in supratidal saline pans, south Jeddah, Red Sea coast, Saudi Arabia // Arab J Geosci. – 2015. – № 8. – P. 8835–8851.
 27. Thomas F. K., Warren W. W., Ward E. S. Distinguishing seawater from geologic brine in saline coastal groundwater using radium-226 an example from the Sabkha of the UAE // Chemical Geology. – 2014. – № 371. – P. 1–8.
 28. Veizer J., Prokoph A. Temperatures and oxygen isotopic composition of Phanerozoic oceans // Earth-Science Reviews. – 2015. – № 146. – P. 92–104.
 29. Yitzhak L. The origin and evolution of brine in coastal sabkhas, Northern Sinai // Journal of Sedimentary Petrology. – 1997. – Vol. 47, № 1. – P. 451–462.
 30. Zak K., Kostak M., Man O. et al. Comparison of carbonate C and O stable isotope records across the Jurassic/Cretaceous boundary in the Tethyan and Boreal Realms // Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. – 2011. – № 299. – P. 83–96.

REFERENCES

1. *Baskov E. A.* Osnovy paleogidrogeologii rudnykh mesto-rozhdenii [Basics of paleohydrogeology of ore deposits]. Leningrad, Nedra Publ. 1983. 263 p.
2. *Valyashko M. G.* Geokhimicheskie zakonomernosti formirovaniya mestorozhdenii kaliinykh solei [Geochemical regularities of formation of potash salt deposits]. Moscow, Izdatel'stvo MGU Publ. 1962. 403 p.
3. *Kartsev A. A.* Hidrogeologiya neftyanykh i gazovykh mestorozhdenii: uchebnoe posobie dlya vuzov [Hydrogeology of oil and gas fields: textbook for universities]. Moscow, Gostoptekhizdat Publ. 1963. 353 p.
4. *Kartsev A. A., Vagin S. Yu., Baskov E. A.* Paleogidrogeologiya [Paleohydrogeology]. Moscow, Nedra Publ. 1969. 150 p.
5. *Kokh A. A.* Paleogidrogeologicheskie rekonstruktsii yursko-melovykh otlozhenii zapadnoi chasti Enisei-Khatangskogo regional'nogo progiba [Paleohydrogeological reconstructions of Jurassic-Cretaceous deposits in the Western part of the Yenisei-khatang regional trough]. Otechestvennaya geologiya. 2014. no. 2. P. 77–86
6. *Moskovskii G. A., Goncharenko O. P., Svidzinskii S. A.* Osnovnye cherty gidrokhimii permskogo galogeneza Prikaspiya [Main features of hydrochemistry of Permian halogenesis of the Caspian sea]. Izvestiya Saratovskogo universiteta. 2011. V. 11. no. 1. P. 69–75.
7. *Nikanorov A. M., Volobuev G. P., Bartsev O. B.* Paleogidrogeologicheskie rekonstruktsii neftegazonosnykh basseinov [Paleohydrogeological reconstructions of oil and gas basins]. Moscow, Nedra Publ. 1975. 192 p.
8. *Nikitenko B. L., Knyazev V. G., Lebedeva N. K., Peshchevitskaya E. B., Kutugin R. V.* Problemy stratigrafii oksforda i kimeridzha na severe Srednei Sibiri (razrez poluostrova Nordvik) [Problems of stratigraphy of Oxford and kimeridzha in the North of Central Siberia (section of the Nordvik Peninsula)]. Geologiya i geofizika. 2011. V. 52. no. 9. P. 1222–1241.
9. *Nikitenko B. L., Shurygin B. N., Knyazev V. G., Meledina S. V., Dzyuba O. S., Lebedeva N. K., Peshchevitskaya E. B., Glin-skikh L. A., Goryacheva A. A., Khafaeva S. N.* Stratigrafiya yury i mela Anabarskogo raiona (Arkticheskaya Sibir', poberezh'e morya Laptevnykh) i boreal'nyi zonal'nyi standart [Stratigraphy of the Jurassic and Cretaceous of the Anabar region (Arctic Siberia, Laptev sea coast) and boreal zonal standard]. Geologiya i geofizika. 2013. V. 54. no. 8. P. 1047–1082.
10. *Novikov D. A.* Osobennosti sostava rassolov Anabaro-Lenskoi zony [Features of the composition of brines of the Anabar-Lena zone]. Sed'mye Saksoskie chteniya: Materialy nauchnoi sessii, posvyashchennoi 100-letiyu so dnya rozhdeniya chlena-korrespondenta AN SSSR V. N. Saksy. Novosibirsk, INGG SO RAN Publ. 2011. V. 1. P. 209–213.
11. *Novikov D. A., Kokh A. A., Sadykova Ya. V., Sukhorukova A. F.* Hidrogeologiya i geotermya dokembriiskikh i fanero-zoiskikh otlozhenii Anabaro-Lenskogo regiona [Hydrogeology and Geothermy of Precambrian and Phanerozoic deposits of the Anabar-Lena region]. Materialy nauchno-prakticheskoi konferentsii "Neftegazogeologicheskii prognoz i perspektivy razvitiya neftegazovogo kompleksa Vostoka Rossii". Sankt-Peterburg, FGUP VNIGRI Publ. 2013. P. 224–229.
12. *Sadykova Ya. V., Novikov D. A.* Paleogidrogeologicheskie rekonstruktsii verkhneyurskikh otlozhenii yuzhnykh raionov Ob'-Irtyskogo mezhdurech'ya [Paleohydrogeological reconstructions of upper Jurassic deposits in the southern regions of the Ob-Irtys interfluvium]. Neft' i gaz. 2010. no. 1. P. 19–28.
13. *Sadykova Ya. V.* O faktorakh formirovaniya sostava podzemnykh vod nizhne-sredneyurskikh otlozhenii vostochnoi chasti Enisei-Khatangskogo regional'nogo progiba i Anabaro-Khatangskoi sedloviny [On the factors of formation of groundwater composition of the lower-middle Jurassic sediments of the Eastern part of the Yenisei-khatang regional trough and the Anabar-khatang saddle]. GEO-Sibir'-2011. Nedropol'zovanie. Gornoe delo. Novye napravleniya i tekhnologiya poiska, razvedki i razrabotki mestorozhdenii poleznykh iskopaemykh: Sbornik materialov VII Mezhdunarodnogo nauchnogo kongressa. Novosibirsk. 2011. P. 102–106.
14. *Sadykova Ya. V.* Paleogidrogeokhimicheskie rekonstruktsii neftegazonosnykh otlozhenii poluostrova Gydan [Paleohydrogeochemical reconstructions of oil and gas deposits of the Gydan Peninsula]. Otechestvennaya geologiya. 2016. no. 1. P. 16–24.
15. *Sadykova Ya. V., Dul'tseva M. G.* Rol' paleogidrogeokhimicheskikh faktorov v formirovanii sostava podzemnykh vod neftegazonosnykh otlozhenii severo-vostochnoi chasti Bol'shekhetskoi megasineklizy [The role of paleohydro-geochemical factors in the formation of groundwater composition of oil and gas deposits in the North-Eastern part of the Bolshekhetskaya megasineclise]. Vodnye Resursy. 2017. V. 44. no. 2. P. 168–181.

16. *Sadykova Ya. V.* Periodizatsiya gidrogeologicheskoi istorii Anabaro-Khatangskoi, Leno-Anabarskoi i Laptevskoi neftegazonosnykh oblastei [Periodization of the hydro-geological history of the Anabar-Khatang, Leno-Anabar and Laptev oil and gas fields]. *Interesno Geo-Sibir'. Nedropol'zovanie. Gornoe delo. Napravleniya i tekhnologii poiska, razvedki i razrabotki mestorozhdenii poleznykh iskopaemykh. Geokologiya: Sbornik materialov XIII Mezhdunarodnogo nauchnogo kongressa. Novosibirsk. 2017. V. 2. no. 1. P. 171–176.*
17. *Saks V. N., Gramberg N. S., Ronkina Z. Z., Aplonova E. N.* Mezozoiskie otlozheniya Khatangskoi vpadiny [Mesozoic deposits of the khatang depression]. Leningrad, Gos-toptekhzdat Publ. 1959. 226 p.
18. *Sokolovskii L. G., Polyakov V. A., Timokhin V. G., Alibekova S. V.* Otsenka uslovii formirovaniya i zashchishchennosti ot tekhnogenogo zagryazneniya podzemnykh vod Vostochno-Predkavkazskogo artezianskogo basseina [Assessment of conditions for formation and protection from technogenic pollution of underground waters of the Eastern pre-Caucasian artesian basin]. *Razvedka i okhrana nedr. 2010. no. 7. P. 24–31.*
19. *Chirvinskii P. N.* Paleogidrogeologiya [Paleohydrogeology]. *Problemy sovremennoi geologii. 1933. V. 3. no. 8. P. 107–122.*
20. *Shestov I. N., Tyurina I. M., Shuvalov V. M.* Vliyanie paleogidrogeologicheskikh uslovii na formirovanie nefte-gazonosnykh mestorozhdenii Permskogo Prikam'ya [In-fluence of paleohydrogeological conditions on the formation of oil and gas fields in the Permian Kama region]. *Vestnik Permskogo universiteta. 2008. no. 10. P. 16–19.*
21. *Hendry J. M., Barbour S. L., Novakowski K., Wasseenaar L. I.* Paleohydrogeology of the Cretaceous sediments of the Williston Basin using stable isotopes of water. *Water resources research. 2013. no. 49. P. 4580–4592.*
22. *Mohammed H. B., Mahmoud A. A.* Composition and origin of the sabkha brines, and their environmental impact on infrastructure in Jizan area, Red Sea Coast, Saudi Arabia. *Environ Earth Sci. 2016. V. 75. no. 105. 17 p.*
23. *Novikov D. A.* Hydrogeochemistry of the Arctic areas of Siberian petroleum basins. *Petroleum Exploration and Development. 2017. V. 44. no. 5. P. 780–788.*
24. *Novikov D. A., Chernykh A. V., Dultsev F. F.* Paleohydrogeochemistry of the Upper Jurassic Deposits of the Arctic Regions of the West Siberian Megabasin. *Journal of Physics: Conference Series. International Conference on Applied Physics, Power and Material Science (Secunderabad, Telangana, India, 5–6 December 2018). 2019. V. 1172. no. 012094.*
25. *Rosenthal E., Flexer A., Moller P.* The paleoenvironment and the evolution of brines in the Jordan-Dead Sea transform and in adjoining areas. *International Journal of Earth Sciences. 2006. no. 95. P. 725–740.*
26. *Rushdi J. T., Mahmoud A. A.* Hydrochemistry, evolution, and origin of brines in supratidal saline pans, south Jeddah, Red Sea coast, Saudi Arabia. *Arab J Geosci. 2015. no. 8. P. 8835–8851.*
27. *Thomas F. K., Warren W. W., Ward E. S.* Distinguishing seawater from geologic brine in saline coastal groundwater using radium-226 an example from the Sabkha of the UAE. *Chemical Geology. 2014. no. 371. P. 1–8.*
28. *Veizer J., Prokoph A.* Temperatures and oxygen isotopic composition of Phanerozoic oceans. *Earth-Science Reviews. 2015. no. 146. P. 92–104.*
29. *Yitzhak L.* The origin and evolution of brine in coastal sabkhas, Northern Sinai. *Journal of Sedimentary Petrology. 1997. V. 47. no. 1. P. 451–462.*
30. *Zak K., Kostak M., Man O., Zakharov V. A., Rogov M. A., Pruner P., Rohovec J., Dzyuba O. S., Mazuch M.* Comparison of carbonate C and O stable isotope records across the Jurassic/Cretaceous boundary in the Tethyan and Boreal Realms. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. 2011. no. 299. P. 83–96.*

«Шёл к завоёванным победам с фронтовиками полевик...»

Е.В.СИДОРОВА, О.А.ГРИБОВСКАЯ (Федеральное государственное бюджетное учреждение «Центральный научно-исследовательский геологоразведочный институт цветных и благородных металлов» (ФГБУ «ЦНИГРИ»); 117545, г. Москва, Варшавское шоссе, д. 129, корп. 1)

Сидорова Евгения Викторовна
кандидат биологических наук



sidorova.evgenia2011@yandex.ru

Грибовская Олеся Андреевна

Geologists had been going towards the Victory together with the soldiers

E.V.SIDOROVA, O.A.GRIBOVSKAYA (Central Research Institute of Geological Prospecting for Base and Precious Metals)

В геологическом фонде Центрального научно-исследовательского геологоразведочного института цветных и благородных металлов (ЦНИГРИ) хранятся отчёты о результатах поисковых и горных работ 1941–1945 гг. В то время институт носил название НИГРИЗолото, действовал в эвакуации, некоторые его сотрудники были командированы в распоряжение различных производственных организаций для укрепления их кадрового состава. За скупыми строками выцветших от времени документов – итоги важнейшей работы геологов-практиков, направленной на восполнение минерально-сырьевых ресурсов осаждённой страны, и, одновременно, история жизни людей на трудовом фронте Великой Отечественной войны, когда «вопреки войне и бедам сквозь все невзгоды, напрямик, шёл к завоёванным победам с фронтовиками полевик...». Автор этих строк, ветеран ЦНИГРИ Лидия Александровна Николаева начала работать в институте спустя всего пять лет после окончания войны и вместе с вернувшимися из эвакуации коллегами продолжила исследования, развёрнутые геологической службой СССР для восстановления разрушенного хозяйства страны. Лишь в 1970–1990-е годы уви-

дели свет первые публикации, посвящённые военным будням геологов НИГРИЗолото, – стихи, мемуары, аналитические статьи, ещё через некоторое время были рассекречены некоторые архивные материалы. Сегодня они помогают нам достовернее оценить вклад сотрудников геологоразведочных институтов в решение отраслевых задач военного времени.

Научные задачи НИГРИЗолото накануне вторжения

В конце 1939 г. НИГРИЗолото, подчинявшийся Главному управлению золотоплатиновой промышленности Западной Сибири, Урала и Казахстана («Главзападзолото»), был передан Главному геологическому управлению Наркомата цветной металлургии (НКЦМ) СССР. На коллектив института, который до войны занимался преимущественно проблемами золотодобычи, в 1941–1945 гг. было возложено обслуживание всех отраслей цветной металлургии. По свидетельству старейшего сотрудника НИГРИЗолото–ЦНИГРИ, доктора геолого-минералогических наук Георгия Павловича Воларовича, на рубеже 1930–1940-х годов, когда стало ясно, что война неизбежна,



Сотрудники НИГРИЗолото. Пятилетие института, январь 1941 г. 1-й ряд (слева направо): Н.И.Бабинцев, В.И.Соболевский, Р.В.Дизик, М.Б.Бородаевская, А.А.Усова, Н.В.Петровская, Л.Ф.Айнберг, Гальперина (коллектор); 2-й ряд: В.В.Недлер, В.А.Новиков, А.И.Фасталович, А.Литвиненко, Т.М.Дембо, Акаева (фотограф), А.А.Иванова, В.П.Кузьмина, С.Шефтал (минералог); 3-й ряд: В.К.Флёров, Н.В.Володомонов, С.Г.Файзуллин, А.П.Божинский, Г.Д.Карамышева, Б.А.Максимов

руководство произвело кадровые перестановки, ориентированные на укрепление производственных организаций [1]. Так, весной 1941 г. опытные специалисты в области поисковых работ Г.П.Волярович и П.Л.Каллистов были переведены из НИГРИЗолото в трест «Золоторазведка», А.П.Божинский возглавил Минусинскую геологоразведочную партию. Заведующий группой рудных месторождений НИГРИЗолото Н.И.Бородаевский в марте 1941 г. указом наркома цветной металлургии переведён в трест «Главредмет» и приступил к исполнению обязанностей старшего геолога Шеелитового рудника комбината «Берёзовзолото». В числе исследователей, начавших перед войной работать на производстве, был и младший научный сотрудник Института геологических наук АН СССР (ныне ГИН РАН) Д.И.Горжевский, назначенный в 1940 г. на должность геолога Киргизского геологического управления (пройдёт 13 лет, и он станет ведущим специалистом ЦНИГРИ в области изучения полиметаллических месторождений). Наступило

время более тесного и очень плодотворного взаимодействия сотрудников отраслевых НИИ, академических учреждений, производственных организаций.

К 1941 году государственный золотой запас страны составлял более 2200 т, и в этом была немалая заслуга геологов-практиков треста «Золоторазведка» и НИГРИЗолото, которые совместно с тружениками управления «Дальстрой» обеспечивали создание полноценной минерально-сырьевой базы благородных металлов. НИГРИЗолото обобщил опыт пятилетних полевых исследований и выпустил методическое руководство, предназначенное для рационализации работы геологической службы на горнорудных предприятиях золотодобычи [5]. В этом пособии детально освещались методики наблюдений в горных выработках, сбора и анализа материалов, а также оперативного учёта недр на рудниках. Причём акцент был сделан на методике изучения рудного вещества, предполагающей углублённые исследования морфологии и структуры самородного золота



Участники Ленской экспедиции НИГРИЗолото. Пятилетие института, 1941 г. 1-й ряд (слева направо): Г.Д.Карамышева, Н.А.Воскресенская, Г.Л.Юдин, А.Р.Бурачек, Б.Н.Красильников; 2-й ряд: И.Пылеев, Н.С.Каткова, Е.Д.Скворцова, И.М.Иванов, Л.А.Лион, Н.И.Королёв (парторг экспедиции), О.А.Глико, Н.Шпак, М.А.Грабовская

для последующего выбора поисковых критериев. В последнее предвоенное десятилетие найдены, разведаны и освоены многие россыпные и рудные месторождения и целые новые золотоносные районы и провинции в Восточной Сибири и на Дальнем Востоке [1].

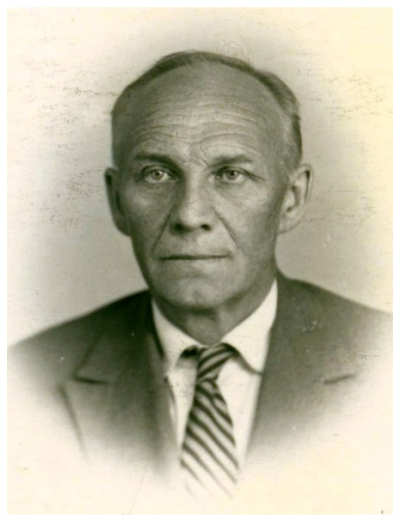
В Ближней и Средней тайге Ленского района в 1940–1941 гг. работала большая группа геологов НИГРИЗолото под руководством Георгия Лазаревича Юдина. Специалисты вели геологическую съёмку геоморфологически сложной территории с богатыми глубоко залегающими россыпями. Промышленные коренные месторождения золота здесь ещё не были известны [2]. Сводный отчёт, написанный Г.Л.Юдиным, Н.С.Катковой, И.М.Ивановым, С.Г.Мирчинк, Б.Н.Красильниковым, О.А.Глико, Н.В.Петровской, А.И.Фасталовичем, был представлен в 1941 г. Он содержал данные геологической съёмки бассейнов рек Бодайбо, Энгажимо, Ваца и верховьев рек Тахтыга, Б. Патом, Хомолхо, Жуя. Работы на Лене, инициированные по предложению Владимира Афанасьевича

Обручева, сыграли большую роль в познании россыпной и коренной золотоносности. В те же годы геоморфолог НИГРИЗолото Сергей Семёнович Лапин изучал россыпные месторождения золота на Енисейском кряже. Он пришёл к выводу, что необходимо продолжать геологоразведочные работы на пойменных и террасовых россыпях Северо-Енисейского района, и реализация его рекомендаций позволила в годы войны удержать уровень добычи золота в этом регионе.

На Восточном Саяне А.П.Божинский и П.Л.Каллистов в конце 1930-х годов проводили исследования на руднике Артём и россыпях Ольховско-Чибижекского золоторудного района и высоко оценили вероятность выявления здесь новых пирит-пирротиновых залежей с мощными зонами окисления [1]. В 1940–начале 1941 года сотрудники института К.А.Петров и Л.Л.Ляхов выполнили геофизические работы на том же руднике, применив методы точной магнитометрии и электроразведки. Одновременно А.П.Божинский,



Г.П.Воларович



П.Л.Каллистов



А.П.Божинский

К.В.Потёмкин и Е.В.Постникова провели геологическую съёмку Ольховско-Чибижевского района на площади 600 км², составили сводную геологическую карту в масштабе 1:50 000 и выявили вольфрам-молибденовое месторождение. В дальнейшем именно этот коллектив составил костяк минусинской геологоразведочной партии, которой в 1941–1944 гг. руководил откомандированный сотрудник НИГРИЗолото Андрей Петрович Божинский.

В Забайкалье к началу 1940-х годов были известны месторождения коренного золота Балей, Дарасун, Ключи, Любовь. Изучение геологии Дарасунского месторождения, начатое в 1937 г. сотрудниками НИГРИЗолото З.В.Рипасовой, В.И.Соболевским, Д.А.Зенковым (он тогда работал рудничным геологом Дарасуна), и поиск сульфидного

оруденения геофизическими методами, успешно проведённый Н.А.Никифоровым, Б.П.Ребриным и А.П.Ребриной, были продолжены в первые годы войны.

К началу 1940-х годов одной из относительно хорошо разведанных провинций коренного золота в СССР был Казахстан, где разрабатывали ряд месторождений – Степняк, Бестюбе, Майкаин и др. В 1940–1941 гг. сотрудники НИГРИЗолото В.И.Соболевский, В.А.Диомидова совместно с С.Г. Файзуллинским исследовали в Северном Казахстане золоторудные месторождения Первомайско-Ирмовского участка Степнякского рудного поля. Они наметили новые рудоносные участки, оценили шеелитоносность района. А специалист НИГРИЗолото по геолого-экономическим исследованиям Н.В.Володомонов провёл экономическую классификацию запасов и оценил перспективы эксплуатации всей Степнякской группы рудников треста «Каззолото».

В Приамурье на рубеже 1930–1940 годов сотрудник НИГРИЗолото Н.И.Бабинцев изучил геологическое строение и минералогический состав руд известного с конца 19 столетия Джалиндинского золото-висмутового месторождения треста «Верхамурзолото» и оценил его промышленное значение в плане добычи золота и редких металлов (висмута, вольфрама, теллура). Особое внимание он придавал тектоническим особенностям района и указал наиболее перспективные участки для расширения рудной базы месторождения.



С.С.Лапин

В те же годы руководитель исследований россыпных месторождений в НИГРИЗолото Валериан Константинович Флёрв проанализировал все имевшиеся материалы, которые характеризовали россыпи Амурского и Приморского золотоносных районов, систематизировал их и подготовил (в соавторстве с М.А.Усовой) первое в стране «Руководство по эксплуатационной геологии россыпей» [10]. Методическое пособие вышло из печати во второй половине 1941 г., когда ушедшего в ополчение В.К.Флёрва уже не было в живых.

Подразделения горного дела в НИГРИЗолото в предвоенный период решали две основные задачи: организовывали внедрение скоростных проходок горных выработок и разрабатывали методы защиты горняков от рудничной пыли. Первым направлением исследований руководил горный инженер Б.В.Громов, который внедрял циклические графики работ на проходке подземных горных выработок, в результате чего скорость возрастала в 2–3 раза. Созданием индивидуальных средств защиты работников, внедрением технологий сухого и мокрого пылеулавливания на горных работах занимался инженер В.А.Сипягин с коллегами. Названные экспериментальные направления, развившиеся в НИГРИЗолото в конце 1930-х годов, имели большое значение для повышения эффективности работы рудников во время войны.

Авторитет геологов в золотой промышленности был в этот период очень высок, чему в опре-



Б.В.Громов

делённой мере способствовало назначение главных геологов золотодобывающих трестов, поисковых управлений, приисков и рудников на должности заместителей управляющих и начальников наравне с главными инженерами в соответствии с приказом по Наркомату цветной металлургии СССР.

Сводки с линии горного и геологоразведочного фронтов

Оккупация западных территорий СССР войсками Третьего рейха в июле–декабре 1941 г. сопровождалась масштабной эвакуацией производственных предприятий на восток. Для обеспечения их бесперебойной работы требовалось срочно освоить новые месторождения полезных ископаемых, в том числе цветных и редких металлов. Двадцать третьего августа коллектив НИГРИЗолото приступил к работе на новом месте – в поселке Макарак Кемеровской области, куда институт был эвакуирован из Москвы по решению правительства [11].

Научные учреждения срочно переориентировали исследования с учётом требований военного времени. В соответствии с постановлением НКЦМ СССР НИГРИЗолото был переименован из геологоразведочного в научно-исследовательский горно-разведочный институт золота и вновь подчинён Главному управлению золотоплатиновой промышленности. Его структура также претерпела изменения. Было создано два сектора –

геологоразведочный и горный. Действовавшие до 1941 г. группы изучения рудных месторождений, россыпных месторождений, методики разведки и рудничной геологии, геофизики, а также горную и геолого-горно-экономическую группы и многочисленные лаборатории включили в зависимости от их профиля в один из этих секторов [8]. Несмотря на экстренность переезда, сокращение числа научных сотрудников и трудные бытовые условия, НИГРИЗолото во главе с директором Георгием Капитоновичем Славным (он возглавлял институт в сентябре 1940–марте 1944 г.) восстановил функционирование лабораторий (минераграфической, минералого-аналитической, физико-химической, спектральной, шлихоминералогической, пылеулавливания); возобновились выезды геологических партий и отрядов на полевые работы. Многие сотрудники НИГРИЗолото в дни начала Великой Отечественной войны находились в экспедициях в отдалённых районах и не прерывали свою работу.

В связи с тем, что в условиях военного времени от горного сектора НИГРИЗолото постоянно требовалась оперативная техническая поддержка горнодобывающим предприятиям, в ноябре 1941 г.–начале 1942 г. на Урале (в городах Берёзовск и Дегтярск) и Алтае (в Лениногорске) были организованы научно-исследовательские опорные станции института. Их сотрудничество с предприятиями «Алтайполиметалл», «Берёзовзолото», а также с рудниками Дегтярским, Уфалейским, Хайдарканским и другими позволило увеличить добычу руд цветных металлов и золота. Выполнение этих задач курировал специалист по механизации горных работ, заместитель директора НИГРИЗолото (1941–1947 гг.) Пётр Дмитриевич Луневский. Составленные специалистами института подробные отчёты об экспериментально-испытанных на отдельных рудниках системах отработки месторождений, технологиях проветривания подземных горных выработок, об испытаниях промышленных взрывчатых смесей и новых сплавов для коронок становились первой ступенью внедрения этих разработок на профильных предприятиях. Ярким примером тому могут служить совместные с производственно-экспериментальным управлением Союзвзрывпрома исследования НИГРИЗолото по теме № 10 на Берёзовском руднике, первоначально направленные на создание взрывчатых веществ – динамонов, или смесей аммиачной селитры с горючими добавками [10]. Горнодобывающие предприятия должны



П.Д.Луневский

были производить взрывчатые вещества самостоятельно, так как почти все ресурсы отправлялись на военные нужды.

Тему № 10 вели работавшие в штате Берёзовской горной опорной станции НИГРИЗолото сотрудники Ленинградского горного института: известный металлург, один из организаторов алюминиевой промышленности в СССР доктор технических наук, профессор А.Н.Кузнецов (научный руководитель станции и темы) и старший инженер А.Г.Родионов. На первом этапе они сотрудничали с инженером НИГРИЗолото М.И.Ермоленко. Изучив исходный тематический план, А.Н.Кузнецов предложил перестроить работу и вернуться к экспериментам с составленным им и впервые испытанным незадолго до войны в Ленинграде взрывчатым веществом «синал», которое представляло собой механическую смесь аммиачной селитры с алюминиево-кремниевой добавкой. Такие исследования продолжились при поддержке руководителей НИГРИЗолото. Итогом стало создание нового взрывчатого вещества «АК», которое можно было успешно применять не только на рудниках, но и в боевых условиях. В течение декабря 1941 г. сотрудники станции провели все необходимые работы по выпуску нового ВВ, с которым, как писал в отчёте А.Н.Кузнецов, «должен ознакомиться, привыкнуть и научиться правильно работать персонал рудников». В январе 1942 г. было изготовлено 2810 кг ВВ «АК» [11], и состоялись успешные испытания

в забоях шахты имени Серго Орджоникидзе на горизонте 84 м при проходке ортов.

В эвакуации продолжились многие предвоенные работы, в том числе и по форсированию проходок горизонтальных горных выработок. К сожалению, проводивший их до войны инженер НИГРИЗолото Борис Владимирович Громов ушёл на фронт и погиб в 1942 г. Исследования, направленные на защиту горняков от рудничной пыли, по-прежнему возглавлял Владимир Александрович Сипягин. В годы Великой Отечественной войны в связи с интенсификацией бурения (производимого «всухую») и взрывных работ на рудниках ситуация особенно обострилась: у людей, длительное время остававшихся под землёй, массово развивался силикоз – тяжело протекающее заболевание лёгких, нередко приводившее к гибели через 6–12 месяцев. Сипягин говорил тогда: «Я буду считать свою жизнь прожитой не зря, если спасу хотя бы несколько человек» [4]. Он разработал индивидуальные средства защиты горняков на основе противогазов.

Если начать зачитывать вслух названия отчётов НИГРИЗолото за 1941–1945 гг., они звучат почти как сводки Информбюро о ситуации на фронтах Великой Отечественной войны. Это – эхо многотрудной жизни на глубокой линии обороны, где Победу над врагом приближали работники горнорудных предприятий, сотрудники научно-исследовательских опорных горных станций и полевых геологических партий. Вот названия лишь некоторых из их исследований с именами исполнителей.

Работы подразделений НИГРИЗолото в 1941–1945 гг. (краткая хронологическая выборка):

Горный сектор:

1941 год. В.А.Сипягин, Н.Е.Вараксин. Изыскание методов борьбы с пылью в подземных горных выработках.

1941 год. М.И.Ермоленко. Выбор рациональной схемы вентиляции для рудников «Береззолото».

1941 год. М.И.Ермоленко. Выбор рациональной схемы вентиляции для южного рудника «Кочкарзолото».

1942 год. М.И.Ермоленко, М.С.Апакова, А.Е.Лисневский. Техническая помощь по вопросу подземной вентиляции на Сокольном и Лениногорском рудниках комбината Алтайполиметалл.

1942 год. В.А.Сипягин. Изготовление и внедрение респираторов «НИГРИЗолото» на Белоусовском руднике и внедрение их на рудниках комбината Алтайполиметалл.



А.В.Сипягин

1942 год. А.А.Скочинский, М.Е.Гердов, Г.Д.Лидин, И.М.Шульман. Исследование процесса образования мёртвого воздуха в атмосфере горных выработок меднорудных шахт. Красногвардейский рудник.

1942 год. М.Н.Харюткин. Анализ применяемой системы разработки и выбор наиболее эффективной системы на Ленинском руднике треста «Берёзовзолото».

1943 год. М.И.Ермоленко, М.С.Апакова. Оказание технической помощи по улучшению проветривания подземных горных выработок на шахтах «Дегтярстроймедьруды».

1944 год. М.П.Лебедев. Рационализация систем разработок рудника Нитгис-Кумужье.

1944 год. А.В.Левицкий, И.Г.Скоробогатов. Описание и сравнительная оценка систем разработки тонких жил месторождений Главвольфрама, применявшихся и применяемых для выемки. (Месторождения Чихой, Белуха и Букука).

1945 год. А.Е.Лисневский. Рационализация вентиляции на руднике им. Кирова, комбината «Джетыгарзолото».

1945 год. Д.Б.Россов. Упорядочение пневматического хозяйства и процесса бурения на предприятиях «Балейзолото».

Геологоразведочный сектор:

1941–1942 гг. П.С.Бернштейн. Геология, генезис и перспективы Ворошиловского золоторудного месторождения Мынского приискового управления треста Амурзолото (бассейн реки Селемджа).

1941–1942 гг. Н.И.Бабинцев, Д.А.Тимофеевский, Л.Ф.Айнберг, С.С.Боришанская, Б.П.Ребрин, В.А.Поликарпова. Геолого-структурное и минерало-петрографическое описание золоторудного Дарасунского золото-мышьякового месторождения и его оценка.

1941–1942 гг. Б.Н.Красильников. Комплексная геологическая съёмка бассейна верхнего течения рек Б. Патом и Вача. Масштабы 1:50 000 и 1:200 000.

1941–1942 гг. С.С.Лапин, С.Я.Лапина. Геоморфология и россыпи Тыркандинского золотопромышленного района треста «Якутзолото».

1942 год. Г.Л.Юдин, Н.С.Каткова, В.И.Соболевский. Геолого-промышленная оценка Кумбельского золото-шеелитового месторождения и оценка перспектив района для расширения добычи шеелита и золота из рудных и россыпных месторождений.

1942 год. Ф.А.Ферьянчич. Составление инструкции по анализу рудничного воздуха.

1942 год. Ф.А.Ферьянчич, В.Д.Тяжелов, А.Ф.Сгибнева, В.А.Поликарпова. Технологическая схема получения цианплава и опыты по получению азота из воздуха без применения машины Линде.

1942–1943 гг. М.Б.Бородаевская, А.П.Переляев, А.С.Жукова. Геологическое описание Кировского золоторудного месторождения на Южном Урале как основа для оценки его геологических перспектив.

1942–1943 гг. П.С.Бернштейн, М.Н.Барцева. Определение степени точности буровой разведки на примере некоторых полиметаллических и медных месторождений.

1942–1943 гг. Д.А.Зенков. Методика геологического обслуживания действующих рудников медной и полиметаллической промышленности.

1942–1943 гг. В.И.Седова. Геофизические работы в районе Салаирского, Христиновского и Егорьевского приисков. Поиск древних россыпей Салаира геофизическими методами.

1943–1944 гг. Д.А.Тимофеевский, С.С.Боришанская, В.А.Поликарпова, Н.М.Смирнова. Геолого-промышленная оценка Центрального месторождения Мартайги.

1944 год. В.И.Седова, А.П.Осипов, А.М.Толкачева, М.И.Сорокина. Геофизические работы при поисках никелевых месторождений на Южном Урале.



Пос. Макарак Кемеровской области. В этот населённый пункт НИГРИЗолото был эвакуирован в августе 1941 г.

1944–1945 гг. В.М.Славин, В.И.Соболевский, И.А.Преображенский. Россыпные месторождения золота территории комбината Минусазолото.

1944–1945 гг. Н.И.Бабинцев, А.И.Казаринов, Л.Ф.Айнберг, Г.Д.Карамышева, Е.И.Баранова. Геологическая съёмка и поиски золота в Кузеевско-Посолнинском районе треста Енисейзолото.

1944–1945 гг. Н.А.Никифоров. Геофизические исследования в области золоторудных сульфидных месторождений Южного Урала.

Даже такой неполный перечень исследований геологоразведочного сектора НИГРИЗолото свидетельствует о развёртывании сотрудниками института крупной работы по региональному изучению россыпной золотоносности на основе анализа и обобщения материала, накопленного в предвоенные годы, и специального исследования районов. Такие исследования приобрели исключительное значение в свете истощения государственных золотых резервов: страна тратила огромные средства на военные нужды, в частности на приобретение промышленного оборудования, различных материалов, продовольствия, поставляемых США и Великобританией. Весной 1943 г. из СССР в США было отправлено 1300 т золота. Необходимо было срочно наращивать его добычу. Как написал в своих мемуарах Г.П.Воларович, старателей вернули с фронта, оформили на них брони, технически переоснастили золотую промышленность. О том, какие плоды принесли геологоразведочные работы, можно судить по фондовым материалам ЦНИГРИ–НИГРИЗолото.

Расширение сырьевой базы золота и цветных металлов

В начале войны Урал стал основным поставщиком сырья для эвакуированных в этот регион металлургических предприятий, возросла его роль в наращивании военно-промышленной базы страны [6]. После оккупации Германией Северного Кавказа, где располагалось крупнейшее в нашей стране Тырнаузское месторождение вольфрама и молибдена – минерального сырья стратегического назначения, геологам золотой промышленности было предписано развернуть поиски месторождений этих металлов в золотоносных районах Урала, Казахстана, Средней Азии, Сибири и Дальнего Востока. Н.И.Бородаевский исследовал золото-шеелитовые кварцевые жилы в районе Берёзовского рудника, и здесь началась добыча вольфрамовой руды, которую срочно поставляли на металлургические заводы.

Велико было значение золотых запасов Урала. Для отработки россыпей уральского золота в военные годы многое сделал известный исследователь (будущий член-корреспондент АН СССР) Иван Сергеевич Рожков, работавший в то время главным геологом треста «Уралзолото», а впоследствии ставший директором ЦНИГРИ. В освоении коренных месторождений золота на Урале важную роль сыграли крупный специалист в области геологии золота и редких металлов Александр Петрович Смолин, сотрудники НИГРИЗолото Николай Иванович Бородаевский и Мария Борисовна Бородаевская. Перед войной геологи НИГРИЗолото работали в этом регионе на Берёзовском, Кочкарском, Миндякском, Мелентьевском, Кумакском золоторудных месторождениях. В 1942 г. М.Б.Бородаевская, А.П.Переляев, А.С.Жукова оценили перспективы Кировского золоторудного месторождения на восточном склоне Южного Урала. В 1941–1942 гг. специалист в области металлогении (будущий академик) В.И.Смирнов¹, М.Б.Бородаевская и О.Ф.Иванусь открыли в окрестностях г. Миасс месторождение нового для Южного Урала типа – кобальто-никелевое золоторудное, названное Золотая Гора, и дали рекомендации по его комплексному освоению. Благодаря выявлению этого и других подобных месторождений с достаточно высоким содержанием никеля отечественные заводы получили сырьё для производства легированной стали, что было чрезвычайно важно для танкостроения. Значение силикатных руд никеля на Урале многократно возросло в связи с тем, что никелевые рудники Кольского полуострова, на котором с самого начала войны шли ожесточённые бои, оказались недоступны. В 1942–1943 гг. Н.К.Разумовский и Е.П.Зайцев на основе экспериментов в Уфалейском, Орском и Режевском районах разработали новую методику опробования силикатных никелевых руд в условиях открытых и подземных работ, сконструировали пробоотборочные приспособления.

Плодотворными были геофизические работы НИГРИЗолото на Урале. Так, геофизики института Н.А.Никифоров и В.И.Седова, исследовав в Ивдельском районе Северного Урала Преображенскую группу рудных месторождений, в 1942 г.

¹В 1939–1942 гг. В.И.Смирнов был членом редколлегии журнала «Советская геология» (это название журнал «Отечественная геология» носил с мая 1938 г. по сентябрь 1992 г.).

составили карту распределения диабазовых интрузий и обнаружили шесть золотоносных кварцевых жил, которые вскоре были переданы в эксплуатацию. В 1944 г. были получены данные геофизической партии В.И.Седовой, исследовавшей в районе станции Айдырля Чкаловской области месторождения никеля. Одним из последних исследований военного времени на Урале стало завершившееся уже по возвращении института из эвакуации детальное изучение структуры Берёзовского рудного поля М.Б.Бородаевской, П.Ф.Иванкиным, И.М.Максимовой, С.Ф.Васильченко в 1944–1945 гг.

**М.Б.Бородаевская**

Во время Великой Отечественной войны НИГРИЗолото активизировал работу в Западной Сибири. Геологические и геоморфологические исследования Т.М.Дембо, И.М.Максимовой, М.Н.Смирновой, А.Р.Бурачека и С.Г.Мирчинк в Маринской тайге в пределах Бериккульского и части Первомайского золотоносных районов позволили в 1942 г. выделить 12 перспективных участков на рудное золото и два на шеелит. В последующие два года С.Г.Мирчинк, Г.Д.Карамышева, А.Б.Захаренкова составили для района Мартайгинских приисков карты масштаба 1:50 000 (геоморфологическую, четвертичных отложений, россыпей, минерального состава шлихов) и выявили

**Н.И.Бородаевский**

на Михайловском участке промышленную золотоносность. Одновременно Д.А.Тимофеевский, С.С.Боришанская, Н.И.Бабинцев, Т.В.Молчанова и ряд других геологов НИГРИЗолото детально изучили геологию и структуру рудных полей Центрального, Ударнинского, Бериккульского и Комсомольского месторождений Мартайги. Дальнейшие геологоразведочные работы и комплексная разработка Берикюля, где было выявлено никель-кобальтовое оруденение, велись с учётом рекомендаций НИГРИЗолото.

В 1941 г. группа геофизиков НИГРИЗолото детально исследовала горные выработки на Федотовском и Центральном рудниках в Хакасии. Примечательно, что в этой работе участвовал студент-практикант геологического факультета МГУ им. М.В.Ломоносова Игорь Леонович Нерсесов, в будущем известный сейсмолог, заместитель директора Института физики Земли АН СССР. В 1942 г. нигризовцы Н.А.Никифоров и Н.М.Фурсин провели геофизические исследования на месторождении Балахчино треста «Хакасзолото». В 1943 г. на водоразделе Салаирского кряжа была найдена и немедленно пущена в эксплуатацию первая в Западной Сибири богатая россыпь золота неогенового возраста – Июньская. В 1943–1944 гг. сотрудники НИГРИЗолото П.С.Бернштейн и И.Т.Максимова подробно описали геологическое строение Саралинского рудного поля на восточном склоне



И.С.Рожков

Кузнецкого Алатау и оценили перспективы главнейших эксплуатируемых здесь месторождений. Технический совет треста «Хакасзолото» выразил «полную удовлетворённость работой Бернштейна» и попросил «продолжить в 1945 г. изучение золоторудных месторождений Хакасии, в частности Синявинскую и Узунжувскую группы месторождений». В 1944–1945 гг. П.С.Бернштейн, Т.М.Кайкова, З.Э.Шихман выделили продуктивную зону на Саралинском рудном поле, установили зону локализации рудопроявлений на Коммунарковском и Балахчинском рудных полях. Наконец, они провели перспективную оценку золоторудных месторождений Хакасии, систематизировали архивный и фондовый материалы и составили паспорта 250 (!) месторождений.

В 1942 г. сотрудники НИГРИЗолото А.Р.Бурчак, С.Г.Мирчинк, Т.В.Молчанова, А.И.Григорьева возобновили составление карты россыпных месторождений золота Енисейского региона. В его южной части, Кузеевском районе,



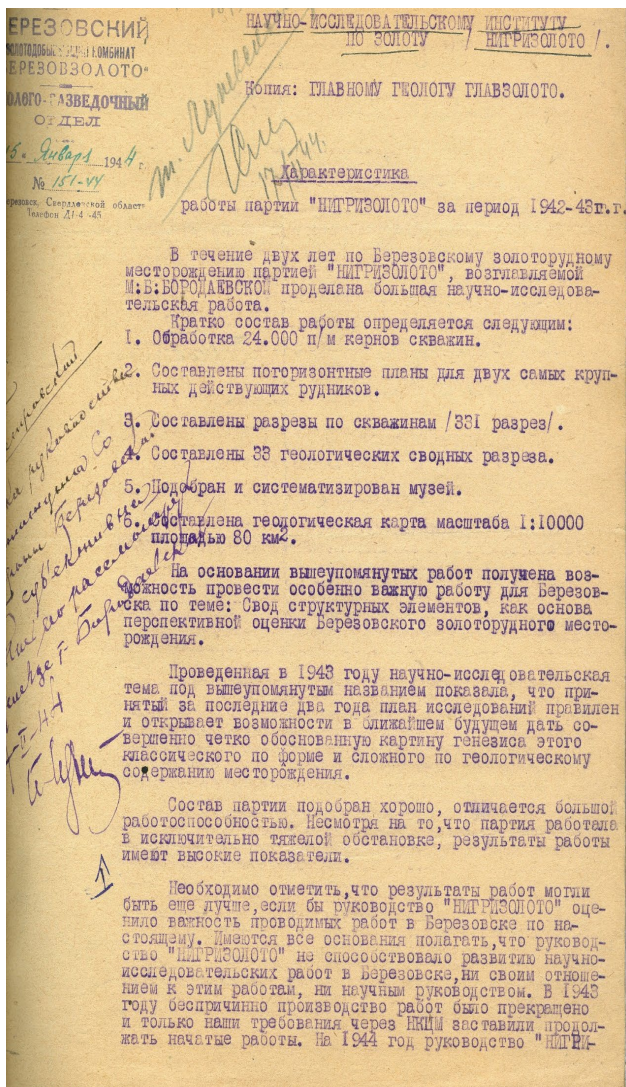
Самоходно-артиллерийские противотанковые установки СУ-85 «Советский старатель» перед отправкой на фронт. Су-85 были произведены на средства, переданные государству старателями. 1943 г. (из архива И.С.Рожкова)

Н.И.Бабинцев, Г.Д.Карамышева и А.И.Казаринов провели комплексные геологические и геоморфологические исследования, выполнив план на 125%. Петрологическое исследование Л.Ф.Айнберг по материалам Н.И.Бабинцева по-новому осветило генезис и возрастные соотношения пород, слагающих названный район. В итоге в 1944–1945 гг. в Енисейской тайге были открыты новые месторождения – Воскресенское и Подкаменное, а на Кузеевском месторождении выявлена никель-кобальтовая минерализация золотоносных руд. Состоялось расширенное техническое совещание работников Кузеевского рудника,

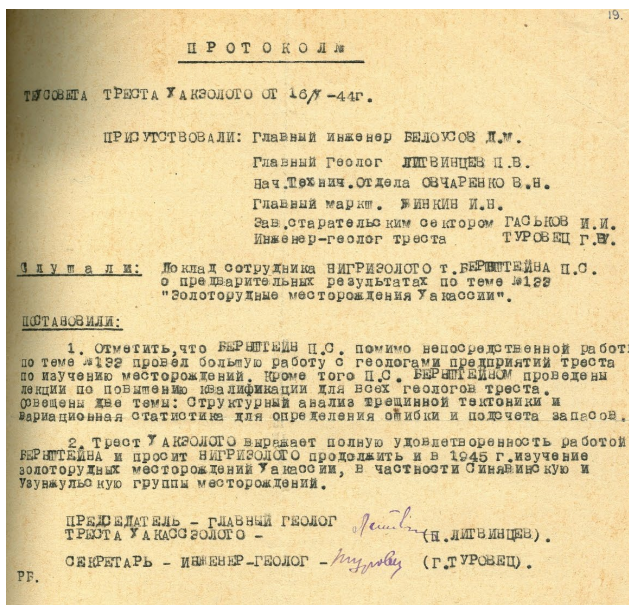
на котором было отмечено большое практическое значение работы геологов НИГРИЗолото. Сотрудники института наметили ряд участков, перспективных на россыпное золото. Их изучение оставалось одним из ведущих направлений работы НИГРИЗолото вплоть до окончания войны. А в сентябре 1945 г. группа Н.И.Бабинцева открыла в верховьях Александровского ключа (к северу от Кузеевского рудника) Любимовское золоторудное месторождение.

Проводились продуктивные исследования и на Алтае. В 1944 г. минералог НИГРИЗолото Виталий Ипполитович Соболевский дал краткое описание коренных месторождений золота Калбы и Нарыма треста «Алтайзолото». В результате выполненных работ выяснилось, что одной из характерных особенностей золотого оруденения этого региона является повышенное содержание теллура в рудах.

В Казахстане во время войны геологические поисковые работы в основном были направлены на выявление редкометалльных объектов. В 1942 г. Г.Л.Юдин, Н.С.Каткова и В.И.Соболевский изучили геологию двух сопредельных шеелитовых районов – Кумбельского и Коктурпакского, расположенных между высокогорным озером Сонкуль и рекой Малый Нарын. Результаты их работы изменили представления о стратиграфии района. Были обнаружены новые перспективные на шеелитовую руду участки. Специалисты НИГРИЗолото представили геолого-промышленную оценку Кумбельского золото-шеелитового месторождения и перспектив района для расширения добычи вольфрама и золота из рудных и россыпных месторождений, и здесь началась добыча шеелитовой руды. В 1942–1943 гг. сотрудник НИГРИЗолото Дмитрий Акиндинович Зенков проводил документацию горных выработок на рудниках Коунрад, Риддер, Сокольный, Чердожак в Казахстане и подготовил методические рекомендации по развитию этих действующих рудников медной и полиметаллической промышленности. А в 1944 г. Д.А.Зенков совместно с О.М.Славиной выпустил методическое руководство по рудничной геологии для действующих предприятий цветной металлургии. В военные годы геологопоисковым бюро треста «Каззолото» руководила Наталья Александровна Фогельман, начинавшая свой профессиональный путь в НИГРИЗолото и возвратившаяся в институт после войны.



Характеристика работы партии НИГРИЗолото под руководством М.Б.Бородаевской на Берёзовском золоторудном месторождении в 1942–1943 гг.



Протокол технического совета треста «Хакасзолото», заслушавшего доклад сотрудника НИГРИЗолото П.С.Бернштейна 16 октября 1944 г.

П.С.Бернштейн

Институт активизировал геолого-поисковые работы в Восточной Сибири. В 1941–1942 гг. геологическая съёмка бассейна верхнего течения р. Жуя, выполненная Вачской партией Ленской экспедиции под руководством Софьи Георгиевны Мирчинк, позволила установить, что четвертичная погребённая долина р. Вача перспективна для поисков россыпей золота. Одновременно Догалдынская партия под руководством Олега Александровича Глико провела комплексную геологическую съёмку в масштабе 1:50 000 в верхней части бассейна р. Бодайбо, подтвердив данные предыдущих лет о тектонических структурах района.

В Забайкалье НИГРИЗолото провёл в 1941–1942 гг. геофизические (Б.П.Ребрин, А.П.Ребрина), геолого-структурные и минералого-петрографические исследования золоторудного Дарасунского золотомышьякового месторождения. Геофизической съёмкой было вскрыто пять новых точек оруденения, одна из них передана в эксплуатацию. Кроме того, специалисты рекомендовали продлить отработку трёх золотоносных жил. А детальное изучение вещественного состава пород Н.И.Бабинцевым, Д.А.Тимофеевским, Л.Ф.Айнберг, С.С.Боришанской с коллегами, картографирование площади в 19 км² и исследо-

вание подземных выработок позволили выявить наиболее перспективные жилы и открыть две новые, промышленные, – их назвали Нигризовская и Вторая Электрическая.

К 1943 году наиболее богатые золотоносные жилы Балецкого золоторудного месторождения уже были отработаны. Г.П.Воларович принял участие в работе специальной комиссии треста «Золоторазведка» на Балее. В результате проведённого анализа приняли решение активизировать геологоразведочные работы на Тасеевском участке. И вскоре на глубине 80 м было вскрыто мощное рудное тело с высоким содержанием золота. В дальнейшем Тасеевское месторождение дало около 300 т золота [1].

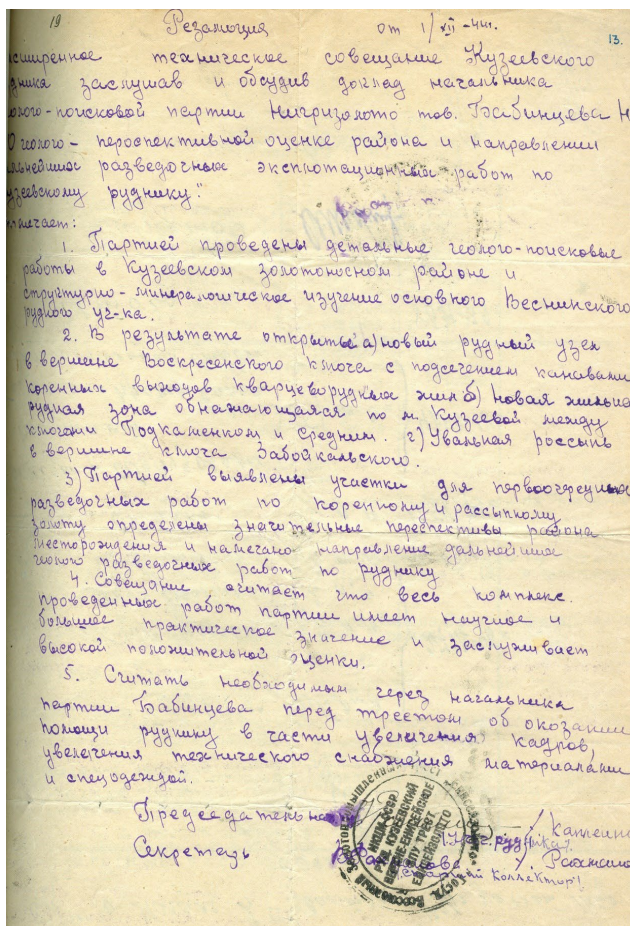
В 1944–1945 гг. россыпи золота в Восточном Забайкалье, на территории Усть-Карийского приискового управления, исследовали И.А.Преображенский, В.М.Славин, Н.В.Башенина. Кроме того, Б.А.Максимов с коллегами проводил геолого-геоморфологические исследования россыпей Шахтоминского и Казаковского районов.

Основное количество россыпного золота Якутии в войну добывали в Центральном Алдане и в бассейне реки Аллах-Юнь. Геологоразведочная служба треста «Алданзолото» тесно взаимодействовала с научными работниками «НИГРИЗолото»

С.С.Лапиным и Л.Я.Лапиной, которые, проведя геоморфологический анализ, оценили погребённые россыпи Тыркандинского района. Их оценка подтвердилась разведочными и эксплуатационными работами [1]. Поставляла Якутия и рудное золото. А.И.Фасталович и Н.В.Петровская изучали Лебединское коренное месторождение, детально охарактеризовали минералы руд. В 1941–1942 гг. они исследовали состав руд и структуру рудного поля месторождения Самодумовское в Центральном Алдане, изучили в лаборатории морфологические и структурные особенности самородного золота, которые в дальнейшем послужили поисковыми критериями. Это была очень перспективная и, к сожалению, последняя, работа Александра Иосифовича Фасталовича. Он был призван в ряды Советской армии и погиб в 1943 г. на Финском фронте.



Л.Я.Лапина



Резолюция расширенного технического совещания Кузеевского рудника, посвящённого обсуждению доклада начальника геолого-поисковой партии НИГРИЗолото тов. Бабинцева Н.И. 1 декабря 1944 г.

Итак, сотрудники геологоразведочного сектора НИГРИЗолото работали по всей стране с большой отдачей: геофизические работы в Салаирском бокситоносном районе позволили вдвое увеличить его разведанные запасы, геоморфологическая ревизия россыпных месторождений Центрального Алдана выявила новые разведочные объекты, так же как исследования во многих других восточных районах страны. В 1942–1945 гг. сотрудник НИГРИЗолото Г.П.Воларович, работавший во время войны в тресте «Золоторазведка», составил первую карту золотоносности СССР в масштабе 1:5 000 000. На неё были нанесены все известные россыпные и рудные проявления золота, объединённые в 350 золотоносных районов. Однако подробная инвентаризация перспективных объектов требовала более масштабной работы, и она была осуществлена в кратчайшие сроки при активном участии Г.П.Воларовича и сотрудников НИГРИЗолото Б.С.Русанова и Е.Т.Шаталова, предложивших составить карту золотоносности СССР на геологической основе масштаба 1:1 000 000. Карту подготовили к 1947 г., её главным редактором стал заместитель начальника «Главзолото» И.С.Рожков. К каждому листу прилагались многотомные таблицы с краткой характеристикой объектов рудной и россыпной золотоносности и платиноносности. Для площадей, металлоносность которых была изучена особенно детально, сотрудники НИГРИЗолото составили карты-врезки масштаба 1:200 000 на геологической основе [2].

«Наши усилия не пропали»

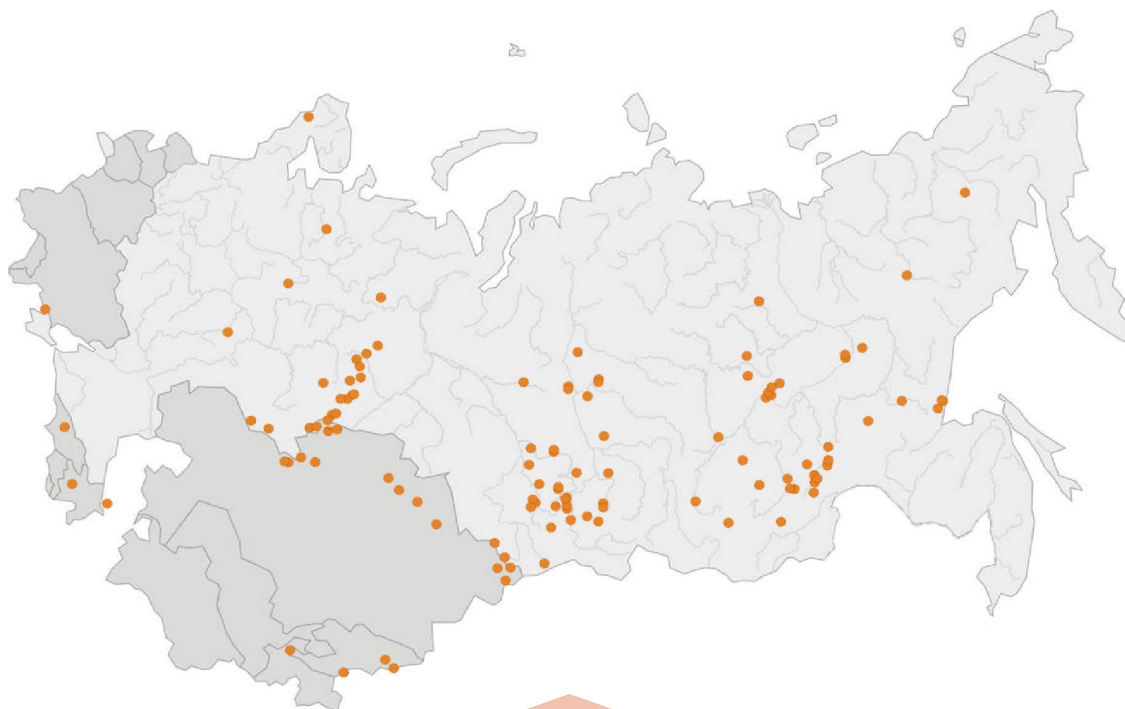
Война вошла в жизнь каждого человека, изменив её коренным образом, и первые дни и месяцы военного времени навсегда врезались в память участников событий. Летом 1941 г. молодой геолог Киргизского геологического управления Давид Иосифович Горжевский принял участие в составлении геологической карты и документации горных выработок только что открытого в Тянь-Шане скарнового месторождения вольфрама – Кашке-Су. Через тридцать лет он написал эти строки, посвящённые памяти друга и участника трудового фронта профессора МГУ им. М.В.Ломоносова Георгия Фёдоровича Яковлева: «... Работа проходила в условиях тяжёлого периода Отечественной войны и осуществлялась в трудных условиях – на высоте около четырёх километров, недалеко от пика Хан-Тенгри, да ещё в условиях относительных превышений рельефа часто более пятисот метров. Мы очень торопились, так как в январе закрывался единственный перевал на горной дороге, которая после 50 км вьючной тропы связывала участок месторождения с автомобильной дорогой г. Фрунзе – Нарын...

Наши усилия не пропали даром, за три месяца на пустынном месте, где не было ни одной хижинки, группа рабочих построила жилые землянки, начала проходку двух штолен и добычу вольфра-



А.И.Фасталович

мовой руды, которая тут же обогащалась и превращалась в концентрат. Ещё до закрытия перевала первые сотни килограммов вольфрамового концентрата, так необходимого для создания военной техники, были отправлены на металлургический завод...» [3].



География работ НИГРИЗолото во время Великой Отечественной войны

Разговор о работе наших коллег в годы Великой Отечественной войны немногого стоит без ясного понимания, каких усилий им стоили свершения на трудовом фронте. Важно отметить, что работа специалистов золотой промышленности находилась под особым государственным контролем. Вот какие воспоминания доктора геолого-минералогических наук, ведущего специалиста ЦНИГРИ по исследованию россыпей золота Юлии Петровны Казакевич записали её коллеги Н.Н.Тучнина и С.С.Кальниченко: «Юлию Петровну война застала на полевых работах в Новосибирской области (аспирантка Томского университета). Она была уже начальником партии. 25 июня 1941 г. в полевой лагерь приехал военком и сообщил о начале войны, одновременно потребовав отдать всех лошадей и их сбрую в распоряжение военных – в то время формировались сибирские полки. Это грозило полной остановкой полевых работ, но вскоре, однако, лошадей вернули вместе с упряжью, потому что геологическая промышленность относилась к НКВД, к тому же работы велись на поиски золота, на которое закупалось продовольствие за рубежом. Работы продолжались...» [9]. Как уже упоминалось, в то же самое время – в июне и июле 1941 г. – сотрудники НИГРИЗолото спешно готовились к эвакуации института. Отправлялись в место новой дислокации не все. Многие мужчины ушли на фронт, мобилизовали в армию девушек-техников и лаборанток – они оказались востребованы в технической службе военных аэродромов [7].

Благодаря тому, что пришедшие в институт сразу после войны молодые сотрудники с вниманием слушали рассказы старших коллег и записали их, сегодня мы располагаем бесценными свидетельствами о том времени. Вот воспоминания из книги Л.А.Николаевой «Цнигриада»: «Повезли сотрудников в пос. Макарак Кемеровской обл. Высадили на станции Тяжин, разместили в ожидании машин по избам. В Макараке поселили в бараках, комната каждой семье, одиночек – по несколько в одну комнату» [7]. Историю военных будней дополняет следующий фрагмент статьи А.В.Хорева о малоизвестных страницах истории НИГРИЗолото: «Работали почти без выходных дней, включая майские, ноябрьские и новогодние праздники. Нередко рабочий день длился десять и двенадцать часов. За опоздание лишь на одну минуту сотруднику в приказе по институту объявлялось строгое предупреждение или ставилось «на вид». Об отпусках и не думали.

**Д.И.Горжевский**

Если кого одолевала болезнь, то появлялся, как правило, приказ такого содержания: «Имярек считать находящимся в отпуске в связи с болезнью» [11].

Но жизнь во всём её многообразии шла своим чередом. И в воспоминаниях о работе института в эвакуации причудливо сочетаются грустные страницы и забавные, трогательные эпизоды. Так, сохранилась притча о «чудачестве» прекрасного геоморфолога Алексея Рафаиловича Бурачека, в котором эстетическое начало победило житейское: «А.Р.Бурачек отправился с саночками в лес за дровами и хворостом. Стемнело, вышла луна, его всё нет. Отправились искать и встретили на лесной дороге. Он вёз на саночках огромный, живописно обросший мхом пень, который с трудом выкорчевал. Пень был водружён в комнату. За дровами пришлось идти назавтра...» [7].

Запомнилось и такое: «Летом научных сотрудников отправляли заготавливать сено для скота, который держали приехавшие в Мартайгу московские начальники. Когда одетые в ватники



Ю.П.Казакевич

и старые сапоги минералоги шли «в командировку» на соседний прииск, местные женщины, с жалостью на них глядя, спрашивали: «Когда освободились-то, бабоньки?» [7].

Трагическая страница воспоминаний. Голодной зимой 1942 г. двое сотрудников НИГРИЗолото отправились на охоту. Возвращаясь, они заблудились и поспорили, куда идти. Не договорившись, разошлись в разные стороны. Один из них, смертельно уставший, добрёл глубокой ночью домой. Второй не вернулся, замёрз недалеко от посёлка [7].

Полевые отчёты 1941–1945 гг. несут на себе печать военного времени: изложенные в них факты красноречиво свидетельствуют об особенностях геологических поисков в те годы. Приведём фрагмент отчёта Теодора Максовича Дембо, начальника мартайгинской партии НИГРИЗолото, проводившей поиски новых источников золота, ртути, вольфрама: «В программу полевых работ Мартайгинской геологической партии НИГРИЗолото в 1942 г. входили поиски рудных месторождений золота и редких металлов и геологическая съёмка в масштабе 1:50 000 в районе Центрального рудника и в южной части Бериккульского района <...> В состав партии входили: начальник – старший научный сотрудник НИГРИЗолото Т.М.Дембо, геолог Т.В.Молчанова, прораб-геолог З.М.Никулина и коллектор Т.П.Карадина. Кроме того, в партии должны

были работать 6 поисковых рабочих и 4 лошади. Партия приступила к полевым работам 5 мая, закончила их 21 сентября и вернулась в институт 2 октября. За полевой период партией выполнены: геологическая съёмка и поиски в масштабе 1:50 000 на площади 860 кв. км (720 в районе Центрального рудника и 140 в южной части Бериккульского района), т.е. 107% плана; взято более 400 поисковых шлихов, 120 проб на золото из кварцевых свалов и 15 проб на ртуть. На вышеуказанную площадь пришлось 3400 точек наблюдения, что соответствует требованиям для принятого масштаба <...>.

Вследствие отсутствия рабочей силы на Центральном руднике вместо полноценных рабочих в партии работали школьники 14–15 лет, и поэтому мы были лишены возможности проверить и детализировать горными работами ряд перспективных участков. Вместо четырёх лошадей в распоряжение партии были представлены только две, а в конце работ – одна, что, естественно, лишило партию нужной мобильности и затрудняло работу в отдалённых от дорог участках...» (Т.М.Дембо, 1942).

После оккупации Германией Донбасса и Северного Кавказа страна временно лишилась Никитовского месторождения ртути, и этот дефицит остро ощущался, поскольку ртуть была нужна не только для оборонной, но и для золотой промышленности [1]. Геологи предложили оперативно разведать и эксплуатировать ртутные месторождения Акташ на Горном Алтае и Чаувай в Средней Азии. В Западной Сибири ртуть добывали из отвалов золотого рудника Барит, аналитической лабораторией которого заведовал Евгений Андреевич Савари (с 1949 г. заместитель директора НИГРИЗолото, в 1951–1964 гг. директор института). В военные годы рудник Барит удовлетворял потребность предприятий «Главзолото» в ртути. Об этом времени Е.А.Савари написал в своей автобиографии, сохранённой в архиве ЦНИГРИ: «В октябре 1939 г. я был зачислен в аспирантуру при Московском институте цветных металлов и золота им. Калинина, но аспирантуру не закончил, так как в августе месяце 1941 г. отделом кадров НКЦМ был отозван из института и направлен на работу в систему треста «Запсибзолото» (Кемеровская область) на ртутное производство. В системе «Запсибзолото» работал до 1943 г. в должностях заведующего лабораторией ртутного рудника, начальником ртутных заводов и главного металлурга Христиновского

приискового управления (Кемеровская область). В сентябре 1943 г. приказом по «Главзолото» был переведён на Советский рудник треста «Енисейзолото» на должность техрука золотоизвлекательной фабрики (Красноярский край, Сев.-Енисейский район), где я работал до июня 1948 г. ».

Война заканчивалась. В 1944–1945 гг. сотрудники треста «Золоторазведка» и НИГРИЗолото вернулись в Москву. В июле 1945 года Наркомат цветной металлургии организовал конференцию, в которой приняли участие представители НИГРИЗолото. В своём докладе руководитель геологоразведочного сектора института Н.В.Петровская отметила, что в военные годы «центр тяжести своих работ институт перенёс на непосредственную помощь предприятиям по выявлению сырьевых баз месторождений и быстрейшему их освоению. Проблемные вопросы глубокого



Е.А.Савари

геолого-генетического изучения рудоносных районов и методические исследования были отодвинуты на последующий период...» [8]. И всё же подробный разбор данных, накопленных в ходе проведённых исследований, позволил докладчику прийти к выводу: военные работы НИГРИЗолото «не могут рассматриваться как фотографирование существующего положения золотодобычи, запасов и степени разведанности территории. Конечной целью таких работ является прогноз



Н.В.Петровская

о богатстве золотоносных областей» [8]. Пришло время строить планы будущей работы, геологам НИГРИЗолото предстояло развивать начатые исследования, которые приведут к новым открытиям. Уже через восемь лет после окончания Великой Отечественной войны довоенный государственный золотой запас СССР был восстановлен. В этой работе участвовали ветераны трудового и боевых фронтов.

В 1945–1947 гг. сотрудники НИГРИЗолото М.Б.Бородаевская, Н.И.Бородаевский, Г.П.Воларович, П.Л.Каллистов, С.С.Лапин, Л.Я.Лапина, В.И.Седова за заслуги перед Отечеством в военное время были награждены медалью «За доблестный труд в Великой Отечественной войне 1941–1945 гг.». Для всех названных сотрудников института это были первые в их жизни правительственные награды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Воларович Г.П.* Геологи увеличивали запасы золота во время Великой Отечественной войны // Геологи на войне. – М., 1995. – С. 53–61.
2. *Воларович Г.П.* Наука – золоту. Свидетельства современника. Ученые ЦНИГРИ и золото России / Под ред. А.И.Кривцова, Б.И.Беневольского. – М.: ЦНИГРИ, 1994. – 86 с.
3. *Горжевский Д.И.* Памяти Г.Ф.Яковлева. Всё о геологии: Смирновский сборник. http://geo.web.ru/conf/CD_Smirnov/html_99/13_gorjev/index.html

4. *Засухин И.Н.* Люди ради людей! // Руды и металлы. – 1995. Спецвыпуск. – С. 16–22.
5. *Зенков Д.А.* Руководство по методике рудничной геологии для золоторудных месторождений. Ч.1. Горноэксплуатационное опробование на золотых рудниках [Текст]: Рек. Всес. комиссией по запасам Ком-та по делам геологии при СНК СССР и Техсоветом НКЦМ в качестве руководства для рудничных геологов золотой и редкометальной промышленности / [В составлении принимали участие А.А.Розин и П.Л.Каллистов]; Н.-и. горно-развед. ин-т по золоту «НИГРИЗолото» – М.: Госгеолиздат, 1941. – 212 с.
6. *Козловский Е.А.* Геология. Уроки Великой войны. – М.: ВНИИГеосистем, 2005. – 99 с.
7. *Николаева Л.А.* Цнигриада. Издание второе, дополненное. – М.: ЦНИГРИ, 2000. – 246 с.
8. *Петровская Н.В.* Работа института «НИГРИЗолото» в восточных областях Советского Союза // Доклад на конференции НКЦМ. – М., 1945. – 21 с.
9. *Тучнина С.С., Кальниченко С.С.* Геологическая судьба Ю.П.Казакевич // Руды и металлы. – 1996. Спецвыпуск (№ 5?). – С. 48–51.
10. *Флёрв В.К., Усова А.А.* Руководство по эксплуатационной геологии россыпей. – М.: Госгеолтехиздат, 1941. – 229 с.
11. *Хорев В.А.* Малоизвестные страницы истории НИГРИЗолото–ЦНИГРИ // Руды и металлы. – 2001. – № 4. – С. 67–73.

REFERENCES

1. *Volarovich G.P.* Geologi uvelichivali zapasy zolota vo vremya Velikoi Otechestvennoi voiny. Geologi na voine [Geologists increased gold reserves during the great Patriotic war. Geologists at war]. Moscow, 1995. P. 53–61.
2. *Volarovich G.P.* Nauka – zolotu. Svidetel'stva sovremennika. Uchenye TsNIGRI i zoloto Rossii [Science to gold. The testimony of a contemporary. Scientists of TsNIGRI and gold of Russia]. Pod red. Krivtsova A.I., Benevol'skogo B.I. Moscow, TsNIGRI publ. 1994. 86 p.
3. *Gorzhevskii D.I.* Pamyati G.F.Yakovleva [In Memory Of G. F. Yakovlev]. Vse o geologii: Smirnovskii sbornik. http://geo.web.ru/conf/CD_Smirnov/html_99/13_gorjev/index.html
4. *Zasukhin I.N.* Lyudi radi lyudei! [People for people!]. Rudy i metally. 1995. Spetsvypusk. P. 16–22.
5. *Zenkov D.A.* Rukovodstvo po metodike rudnichnoj geologii dlja zolotorudnyh mestorozhdenij. Ch. 1. Gornojekspluatacionnoe oprobovanie na zolotyh rudnikah [Guidance on the methods of mining geology for gold deposits. Part 1. Mining testing at gold mines]. Rek. Vses. komissiej po zapasam Kom-ta po delam geologii pri SNK SSSR i Tehsovetom NKCM v kachestve rukovodstva dlja rudnichnyh geologov zolotoj i redkometal'noj prom-sti. (V sostavlenii prinimali uchastie A.A.Rozin i P.L.Kallistov). N.-i. gorno-razved. in-t po zolotu "NIGRIzoloto". Moscow, Gosgeolizdat publ. 1941. 212 p.
6. *Kozlovskii E.A.* Geologiya. Uroki Velikoi voiny [Lessons from the great war]. Moscow, Gos. nauch. tsentr Rossiiskoi Federatsii-VNIIGeosistem Publ. 2005. 99 p.
7. *Nikolaeva L.A.* Tsnigriada. TsNIGRI publ. 2 ed., dopolnennoe. 2000. 246 p.
8. *Petrovskaya N.V.* Rabota instituta «Nigrizoloto» v vostochnykh oblastyakh Sovetskogo Soyuza [The work of the Institute "Negrisolo" in the Eastern regions of the Soviet Union]. Doklad na konferentsii NKTsM. 1945. 21 p.
9. *Tuchnina S.S., Kal'nichenko S.S.* Geologicheskaya sud'ba Yu.P.Kazakevich [Geological destiny Yu.P.Kazakevich]. Rudy i metally. 1996. Spetsvypusk (№5?). P. 48–51.
10. *Flerov V.K., Usova A.A.* Rukovodstvo po ekspluatatsionnoi geologii rossypei [Guide to operational geology of placers]. Moscow, Gosgeoltekhizdat publ., 1941. 229 p.
11. *Khorev V.A.* Maloizvestnye stranitsy istorii NIGRIzoloto – TsNIGRI [Little-known pages of the history of NIGRIzoloto - TSNIGRI]. Rudy i metally. 2001, No. 4, P. 67–73

В памяти вечно живые

Ветераны ЦНИГРИ – участники Великой Отечественной войны

*Мы преклоняемся «...перед теми, кто в самый трудный час, не колеблясь, встал на защиту Отечества, в ком чувство долга оказалось сильнее страха, инстинкта самосохранения и любых личных устремлений, кто пожертвовал всем, чтобы защитить от унижительного рабства своих сограждан...»**



Таисия Гавриловна Куц родилась в 1910 г. Работала в ЦНИГРИ лаборантом отдела минералогии. Участвовала в Великой Отечественной войне с 1943 по 1945 годы. Награждена медалью «За победу над Германией в Великой Отечественной войне 1941–1945 гг.» и другими наградами.



Мария Александровна Васильева родилась в 1923 г. В ЦНИГРИ работала заместителем главного бухгалтера института, а потом и главным бухгалтером. В 1941–1945 гг. трудилась на оборонном предприятии по изготовлению и доставке на фронт противотанковых мин. Награждена медалью «За победу над Германией в Великой Отечественной войне 1941–1945 гг.» и другими наградами.

*Предисловие к книге «Геологи на войне». – М., 1995.

Мария Александровна Васильева встретила Великую Отечественную войну молоденькой девушкой, ей ещё не было 18 лет. Всю войну она трудилась на Московских оборонительных предприятиях. Сначала работала в НИИ-6, изготавлившем противотанковые мины. Ей приходилось перетаскивать из цехов большие тяжести и грузить на автомашины, которыми оперативно доставлялись мины на поле боя войскам, оборонявшим от фашистов ближайшие подступы к Москве суровой зимой 1941 года. Позднее, по окончании вечерних курсов счетоводов, её перевели на фабрику имени Красина на работу в бухгалтерию. Эта фабрика вообще была карандашной, но в те годы изготавливала противоопритные плащи, которыми снабжались некоторые соединения Красной Армии, готовившиеся к химической газовой войне со стороны фашистов.

После окончания войны М.А.Васильева, тогда ещё под девичьей фамилией Залотарёва, перешла на должность бухгалтера в «НИГРИЗолото». В институте она проработала больше половины своей жизни – 35 лет. И ушла на пенсию уже с должности главного бухгалтера. При уходе её на пенсию шутили: «Пришла в институт пионером (на самом деле она была комсомолкой), а покидает его пенсионером».

По долгу службы М.А.Васильевой приходилось выезжать в командировки для ревизии бухгалтерской отчётности полевых партий и экспедиций. Первая её командировка в середине 50-х годов была за полярный крут в Туруханскую экспедицию. С геологами В.Т.Андреановым и Г.П.Воларовичем из города Туруханска с базы экспедиции она поехала на небольшом катере в многокилометровый маршрут вниз по реке Енисей до устья реки Курейки и далее вверх по Курейке до больших порогов. На берегу Курейки ниже порогов, около огромного глубокого улова шириной 300–350 м находился лагерь одной из полевых партий экспедиции, проводившей опробование на алмазы.

Вблизи лагеря катер причалил к берегу, и все сошли с него. Но Мария Александровна забыла на нём свои вещи и вернулась за ними. Она одной рукой держала рюкзак, а в другой несла пару своих туфель. Идя по узкому борту катера в большемерных полевых кирзовых сапогах, Васильева потеряла равновесие и упала в воду. Глубина в том месте была более 10 метров. Мария Александровна на глазах у всех геологов исчезла в воде. На поверхности воды плавали только её рюкзак и туфли. Все, конечно, ужасно перепугались – утонула красивая женщина, да ещё бухгалтер, приехавшая с ревизией. Однако над водой показалось побелевшее лицо Васильевой, и она стала мужественно барахтаться в прозрачной ледяной воде. Первый опомнился моторист катера: схватив багор, он зацепил воротник телогрейки Васильевой, подтащил её к берегу. Тут уже Г.П.Воларович и другие геологи подбежали к урезу воды и подняли Марию Александровну на берег. На берегу она, сразу же улыбаясь, спросила, где бы ей переодеться, а то вода очень холодная.

Так Мария Александровна Васильева, коренная москвичка, не видевшая никогда ранее просторов тайги и огромных сибирских рек, получила своё «боевое геологическое крещение», о котором с восторгом вспоминала всегда.

Три с половиной десятка лет все сотрудники института хорошо знали жизнерадостную всегда весёлую Марию Александровну, добросовестно выполнявшую свою нудную бухгалтерскую работу и постоянно принимавшую активное участие в общественной жизни коллектива. Руководство Министерства геологии СССР неоднократно объявляло ей в приказах благодарность и поощряло её денежными премиями. Многие работники в институте долгие годы называли её по-дружески ласково Мара и продолжают тепло вспоминать её.

Г.П.Воларович, 20 апреля 1995 года

80-летие Виктора Петровича Орлова

Виктору Петровичу Орлову – видному государственному и общественному деятелю, заслуженному геологу РСФСР – исполнилось 80 лет.

Более 60 лет своей жизни он отдал одной из самых романтических и трудных профессий – исследователя геологических тайн планеты Земля, пройдя путь от рабочего угольной шахты до федерального министра и председателя комитета в Совете Федерации – высшем органе законодательной власти России.

Виктор Петрович Орлов родился 22 марта 1940 г. в семье рабочего-шахтёра в г. Черногорск Красноярского края.

Свою трудовую деятельность он начал в 1957 г. с должности рабочего шахтоуправления 14/15. Затем была срочная служба в армии, которую Виктор Петрович проходил на о. Сахалин. После демобилизации – вновь рабочий, а затем освобождённый секретарь комсомольской организации шахты № 9 в г. Черногорск.

В 1963 г. В.П.Орлов поступил в Томский государственный университет. Студентом проходил практику на полевых работах в качестве маршрутного рабочего, радиометриста, промывальщика, проходчика шурфов, техника-геолога геолого-съёмочных партий в Эвенкии и на Камчатке. Учёбу в университете Виктор Петрович совмещал с общественной работой. Был заместителем, а затем секретарём комитета ВЛКСМ (1965–1968). В 1968 г., с отличием окончив университет, получил диплом инженера-геолога, который был удостоен серебряной медали ВДНХ СССР.

С 1968 г. В.П.Орлов начал трудиться инженером-геологом в геолого-съёмочных и геологоразведочных партиях и экспедициях Горной Шории, затем он работал в Иране в должности геолога, главного геолога, начальника геологоразведочной партии. В 1974 г. В.П.Орлов защитил диссертацию на соискание учёной степени кандидата геолого-минералогических наук.

С 1979 г. началась трудовая деятельность Виктора Петровича в ПГО «Центргеология», где он работал старшим геологом, заместителем начальника геологического отдела, затем в Министерстве геологии РСФСР – начальником геологиче-



ского и производственного управлений. В 1984–1986 гг. В.П.Орлов был слушателем Академии народного хозяйства при Совете Министров СССР, по окончании которой получил диплом с отличием по специальности «Экономика и управление народным хозяйством».

В 1986 г. В.П.Орлов возвратился в ПГО «Центргеология» на должность генерального директора, руководил всеми видами геологоразведочных работ на территории 20 областей и 5 республик европейской части России, активно внедрял новые прогрессивные экономически выверенные формы управления народным хозяйством в геологии.

В 1990 г. В.П.Орлов был назначен заместителем министра геологии СССР, в 1991 г. – первым заместителем Председателя Госкомгеологии РСФСР, а в 1992 г. – Председателем Комитета Российской Федерации по геологии и использованию недр. В 1996 г. обосновал необходимость создания Министерства природных ресурсов Российской Федерации и по апрель 1998 г., а затем с октября 1998 г. по август 1999 г. являлся Министром природных ресурсов Российской Федерации. В.П.Орлов – соавтор ряда федеральных законов (в том числе двух первых редакций Закона РФ «О недрах», 1992, 1995) и последующих изменений Закона РФ «О недрах».

С 1998 г. В.П.Орлов – президент Российского геологического общества (Росгео). С 2001 г. по 2012 г. Виктор Петрович – в Совете Федерации Федерального Собрания РФ. С января 2001 г. – первый заместитель председателя, а с апреля 2004 г. по декабрь 2011 г. – председатель Комитета Совета Федерации по природным ресурсам и охране окружающей среды.

В.П.Орлов осуществляет большую научную и общественную деятельность. Так, с 1995 г. он – член президиума Академии Горных наук, с 2004 г. – вице-президент Союза горнопромышленников России, с 2012 г. – член экспертных советов Совета Федерации, с 2019 г. – председатель Общественного совета при Министерстве природных ресурсов и экологии РФ.

Виктор Петрович – доктор экономических наук (1991), профессор Российского государственного геологоразведочного университета (РГГРУ-МГРИ), почётный доктор Томского государственного университета и Всероссийского нефтяного научно-исследовательского геологоразведочного института (ВНИГРИ), с 1991 г. – главный редактор научно-технического журнала «Минеральные ресурсы России. Экономика и управление».

В.П.Орлов является автором и соавтором более 300 научных работ, в том числе ряда монографий: «Геологическое прогнозирование» (1991), «Минерально-сырьевая база Ирана (твёрдые полезные ископаемые)» (1993), «Железородная база России» (1998), «Проблемы недропользования» (2007), «Геология и минерально-сырьевая база в экономике России» (2015) и др. Он главный редактор 25 томной серии «Геология – жизнь моя»; главный редактор новой серии книг о геологах «Умом, молотком и сердцем – геология судьба моя».

В.П.Орлов – первооткрыватель месторождения (1989), заслуженный геолог РСФСР (1990), лауреат Государственной премии Российской Федерации в области науки и техники (2002), награждён орденом «За заслуги перед Отечеством» IV степени (2002), орденом Почёта (2015) и медалями, имеет благодарности президентов Российской Федерации Б.Н.Ельцина (1999), В.В.Путина (2006), Д.А.Медведева (2011), почётные грамоты Правительства РФ, Совета Федерации РФ.

Сердечно поздравляем Виктора Петровича Орлова с Юбилеем, желаем крепкого здоровья, счастья, новых творческих успехов на благо России.

*Учёный совет ЦНИГРИ
Редколлегия журнала*



Рецензия на книгу П.А.Игнатова, К.В.Новикова «Полевая диагностика тектонических нарушений и флюидоразрывных образований в кимберлитовмещающих отложениях нижнего палеозоя»

Е.М.НЕКРАСОВ (ФГУНПП «Аэрогеология»; 117485, г. Москва, ул. Академика Волгина, д. 8, стр. 2)

Некрасов Евгений Михайлович
доктор геолого-минералогических наук



nekrasov@ibdc.ru

Book review by P.A.Ignatov, K.V.Novikov «Field diagnostics of tectonic disturbances and fluid-fracturing formations in kimberlite-bearing deposits of the Lower Paleozoic»

Е.М.НЕКРАСОВ (FGUNPP «Aerogeologiya»)

Рецензируемая небольшая, но очень нужная книга посвящена методике обработки материалов по актуальным и трудоёмким поиску и прослеживанию по геологическим признакам разломов, вмещающих алмазоносные кимберлитовые трубки и жильные тела. Сразу же необходимо отметить, что авторы книги являются профессиональными специалистами и знатоками месторождений алмазов различного типа и генезиса. П.А.Игнатов и К.В.Новиков много лет занимаются поисками и изучением скрытых месторождений алмазов в Западной Якутии. Одними из основных методов прослеживания рудовмещающих трещинных нарушений, «залечивающихся» алмазоносными кимберлитами, являются бурение поисковых скважин и изучение их керн. Нередко процесс сопоставления кернов «соседних» скважин затруднён из-за малой информативности образцов и неоднозначности, на первый взгляд, сходного геологического материала. Именно это заставило авторов книги разработать и применить в полевых условиях новые специальные методики изучения и отображения материала в геологических документах. Обе методики были апробированы при картировании Накынского кимберлитового поля в Западной Якутии и полностью себя оправдали.

Книга состоит из двух частей. В первой небольшой, но ёмкой части книги авторы приводят пример детально откартированного и изученного Накынского кимберлитового поля. Геологи-поисковики, работавшие в его пределах, применив и использовав материалы магнитной съёмки, сейсморазведки и картирования микротектонических нарушений в керне скважин, сумели обнаружить Нюрбинскую и Ботуобинскую алмазоносные трубки и ряд жильных кимберлитовых тел. Главным достижением этих работ, по мнению авторов, являются выявление и прослеживание рудовмещающего разлома север-северо-восточного направления, сложенного эшелонированными звеньями. Среди них в центральной части разлома авторы обнаружили выдержанный магистральный шов с зоной дробления, названный Диагональным разломом. Алмазоносные трубки и большая часть кимберлитовых жильных тел оказались приурочены к узлам пересечения Диагональным разломом поперечных дорудных разрывов. Это позволило авторам прогнозировать обнаружение других алмазоносных тел.

Прослеживание разрывов поисковыми скважинами послужило авторам необходимым материалом для разработки и применения специальной диагностики и сопоставления нарушений по керну

скважин. Эти материалы изложены во втором, основном разделе книги, в котором представлены альбом фотографий керна (более ста) и анализ образования зафиксированных геологических элементов и вытекающих из этого материала предположений обнаружения алмазоносных кимберлитовых тел.

В основу изложенной диагностики разрывов положен графический способ фиксирования в специально разработанных таблицах разнообразных геологических элементов и особенностей того или иного прослеживаемого разрыва. По мнению авторов, основными такими признаками и особенностями являются литологические, тектонические, магматические, гидротермальные и некоторые другие признаки и особенности. В приведённых в разделе таблицах указанные элементы и признаки отмечаются буквенными кодовыми индексами – Л, Т, М, Мп и др., что позволяет в очень быстром режиме сопоставлять сходные по типу нарушения, но выполняющие различные рудоконтролирующие и рудовмещающие функции элементы. Применение указанного кодирования керна в таблицах позволяет многократно и быстро сопоставлять зоны разрывов, более надёжно прослеживать по сходным признакам трещинные нарушения самых различных типов, выделять среди них разрывы, образующиеся в обстановке сжатия, растяжения или проявления сдвиговых деформаций.

В книге также излагаются различные проблемы генезиса алмазоносных трубок и тел. В частности, много внимания уделено предпосылкам возможного обнаружения алмазоносных тел и флюидизитам, сопровождающим процесс возникновения кимберлитовых тел. В связи с этим хочется отметить очень интересно изложенный авторами книги возможный процесс образования флюидизитов. Сославшись на приоритет представлений в этой области Simkin T. и др., авторы книги, углубив и дополнив эти представления, детально разработали следующую картину генезиса. Они полагают, что в пределах пород нижнего структурного рудовмещающего этажа с водоносными горизонтами (обычными в Западной Якутии) флюидизиты чаще всего образовывались, сопровождая внедрение «столба» кимберлитовой магмы. В интервале прорыва им водоносных

горизонтов, по мнению авторов книги, происходило образование огромного объёма водяного пара, прорыв его и выброс в окружающие породы и на палеоповерхность «пробки» пород, препятствовавшей подъёму магмы. Описываемый процесс достаточно правдоподобен, хотя, возможно, и слишком смело изложен. На самом деле, перегретый водяной пар не взрывоопасен сам по себе. Скорее всего, обладая огромным внутренним давлением, газопаровое образование прорывало пробку пород, мешающую подъёму магмы. В любом случае тот или иной процесс приводил к возникновению брекчий, минералов и сопутствующих продуктов, характеризующихся проявлением в их составе характерной группы элементов $ОН^{-1}$. Авторы книги совершенно справедливо рассматривают такие образования – брекчии, прожилки и гнёздышки минералов-спутников в породах вмещающих пород – прямыми предпосылками возможного обнаружения алмазоносных кимберлитовых тел. Поэтому вполне обоснованно в дальнейшем авторы книги рассматривают и приводят многочисленные примеры проявления в кернах скважин геологических элементов, сопутствующих кимберлитообразованию. Среди них наиболее надёжными выдвигаются ореолы минералов-спутников и упомянутых флюидизитов. На ряде схем отдельных алмазоносных тел – трубок и жильных образований – показываются ореолы постмагматических кальцитов, целестинов, доломитов, баритов, пиритовых и пирит-проявлений, скарноидов, флюидизитов, сопровождающих и окружающих ореолами алмазоносные трубки и жильные кимберлитовые тела. Подобные геологические элементы выступают прямыми поисковыми предпосылками и признаками проявления кимберлитовых тел. Это очень важный и значимый вывод авторов, вытекающий из материалов книги.

Завершая рецензию, следует подчеркнуть, что специальная методика не требует чрезмерно высокого уровня знаний у персонала, обслуживающего поисковые и разведочные скважины. Она дополняет проводимую обычную обработку керна скважин и вместе с тем позволяет использовать для сопоставления и прослеживания одностипных разрывов довольно много новых геологических особенностей и признаков.