

ОТЕЧЕСТВЕННАЯ ГЕОЛОГИЯ

№ 1 / 2023

Основан в марте 1933 года

Журнал выходит шесть раз в год

УЧРЕДИТЕЛИ



Министерство природных ресурсов и экологии
Российской Федерации



Российское геологическое общество



Центральный научно-исследовательский
геологоразведочный институт
цветных и благородных металлов

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор:
А.И.Иванов

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

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

Содержание

ОРГАНИЗАЦИЯ, УПРАВЛЕНИЕ, ЭКОНОМИКА, НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЕ	
<i>Алексеев Я. В., Корчагина Д. А.</i> Сырьевая база меди России: состояние и перспективы раз- вития по 2040 г.	3
МЕСТОРОЖДЕНИЯ РУДНЫХ И НЕРУДНЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ	
<i>Кряжнев С. Г., Берковский Е. М.</i> Флюидный режим формирования Олимпиадинского золото-сульфидного месторождения	20
ЛИТОЛОГИЯ, ПЕТРОЛОГИЯ, МИНЕРАЛОГИЯ, ГЕОХИМИЯ	
<i>Агибалов О. А., Зубова Т. П., Позднякова Н. Н.</i> Отражение особенностей вещественного состава золото- носной коры выветривания в минералогических орео- лах и геохимических аномалиях на примере отдельных участков Еравненской перспективной площади (Респуб- лика Бурятия)	34
<i>Зинчук Н. Н.</i> О геохимических особенностях разновозрастных об- разований алмазоперспективных территорий	46
РЕГИОНАЛЬНАЯ ГЕОЛОГИЯ	
<i>Мясников Ф. В.</i> Алмазоносная литосфера Сибирской платформы (по гео- физическим данным). Эредитарность докембрия, палео- протерозойский плюмовый магматизм, алмазоносность Анабарской тектонической провинции	70
ПАМЯТНЫЕ ДАТЫ	
Памяти Владимира Викторовича Козлова	92
Памяти Ирины Зигмундовны Исакович	93
Памяти Алефины Николаевны Некрасовой	95

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 16.03.2023

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»

Сырьевая база меди России: состояние и перспективы развития по 2040 г.

Показаны состояние, структура воспроизводства сырьевой базы меди в 1993–2021 гг. и прогноз её развития по 2040 г. Проведён анализ движения запасов и их погашения по типам месторождений. Определены риски и ограничения, влияющие на устойчивость сырьевой базы, обоснована необходимость усиления геологоразведочных работ ранних стадий за счёт средств федерального бюджета для подготовки прогнозных ресурсов и создания «поискового задела» для меди.

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

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

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

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

Mineral base of copper in Russia: The state and development prospects for up to 2040

Ya. V. ALEXEEV, D. A. KORCHAGINA

Central Research Institute of Geological Prospecting for Base and Precious Metals, Moscow

The state and reproduction structure of the raw material base of copper for the period of 1993–2021 are shown, and its development for up to 2040 is forecasted. An analysis was performed of the copper mineral reserve movement and of their extinguishing by types of the ore deposits. The risks and limitations are identified, that affect the stability of the raw material base. The necessity of intensification of the early phase geological exploration projects at the expense of the Federal budget is justified for preparation of the forecasted resources and for the creation of a "prospecting potential fund" for copper.

Key words: mineral base, copper, reserves, mining, extinguishing, reserve growth, forecast, resource potential.

Медь относится к базовыми промышленным металлам, а в последние годы также входит в группу полезных ископаемых «зелёной экономики», развитие которой направлено на снижение выброса парниковых газов, эффективное использование природных ресурсов и сохранение окружающей среды.

Медь включена в перечень стратегических видов минерального сырья, утверждённый распоряжением Правительства Российской Федерации от 30 августа 2022 г. № 2473-р, и, согласно Стратегии развития минерально-сырьевой базы Российской Федерации до 2035 года (далее Стратегии), относится к полезным ископаемым первой группы,

сырьевая база которых достаточна для обеспечения потребностей экономики в долгосрочной перспективе при любых сценариях её развития и формально не требует проведения активных геологоразведочных работ, направленных на её воспроизводство, – целевое значение показателя прироста запасов установлено на уровне 50%.

Масштаб балансовых запасов и действующего производства, включая полный производственный цикл последнего «руда–концентрат–металл–изделие», позволяет стране занимать одно из ключевых мест в мире по следующим показателям. Россия располагает после Чили (24%) второй по крупности запасов сырьевой базой в мире с долей

10% и входит в десятку крупнейших производителей её рудничной продукции (в 2021 г. шестая позиция с долей 4%, после Чили – 26%, Перу – 11%, Китая – 9%, ДР Конго – 8%, США – 6%). В производстве рафинированной меди Россия находится на пятой позиции в мировом рейтинге (около 4%), уступая Китаю, Чили, Японии и ДР Конго, а по её экспорту в стоимостном выражении в последние годы занимает третье-четвёртое место (меняясь с Японией) после Чили и ДР Конго.

В настоящем анализе месторождения меди разделены на две группы согласно используемой Госбалансом классификации их руд по промышленным типам. Первая представлена существенно медными месторождениями, в которых медь – главный промышленно ценный компонент в рудах: медноколчеданными, медистых песчаников и сланцев, медно-никелевыми (Ni, как и Cu, также основной компонент), медно-порфировыми (с золотом и молибденом), скарновыми (с золотом и железом), ванадиево-железо-медными, медистых глин и медно-кобальтовыми. Вторая группа месторождений отнесена к медьсодержащим, медь их в рудах рассматривается в качестве попутного элемента.

По степени промышленного освоения, как и в Госбалансе, месторождения разделены на две группы: объекты распределённого фонда (разрабатываемые и разрабатываемые на другие компоненты, подготавливаемые к освоению, разведываемые) и нераспределённого фонда (не переданные в освоение). При этом на отдельных месторождениях распределённого фонда, согласно Госбалансу, имеются участки как разрабатываемые, так и подготавливаемые к освоению, разведываемые или не переданные в освоение.

При формальном «благополучии» сырьевая база меди обладает рядом особенностей, которые рассмотрены ниже.

Для оценки динамики балансовых запасов категорий $A+B+C_1+C_2$ с 1993 г. по настоящее время все месторождения меди разделены на две группы – объекты, поставленные на государственный учёт в советский период и отнесённые к «старым», и «новые» – учтённые Госбалансом уже в российский этап развития минерально-сырьевой базы (МСБ) меди. При этом промышленные (подготовленные к эксплуатации или эксплуатируемые) запасы, главным образом, представлены категориями В и C_1 . Запасы категории А, учтённые на начало 2022 г. только на девяти «старых» месторождениях, составляют 649 тыс. т.

Постановка «нового» месторождения на Госбаланс, как показал анализ [1], может рассматриваться как подведение определённой черты в этапах геологического изучения заданной территории, а само изучение от начала работ ранних стадий – поисковых и поисково-оценочных, когда выявлено перспективное рудопроявление, – до предварительной и детальной разведки и представления материалов на государственную экспертизу запасов может быть весьма продолжительным, достигая многих десятков лет. То есть в большинстве случаев успешность завершения геологоразведочных работ российского периода развития сырьевой базы меди была определена созданным советским «поисковым заделом».

При оценке результативности геологоразведочных работ (ГРР) в российский период в качестве критерия принято количество поставленных на государственный учёт «новых» месторождений меди с балансовыми запасами категорий $B+C_1+C_2$, а также крупность таких месторождений (Cu, в тыс. т: малые до 100, средние 100–1000, крупные от 1000 [3]). Это позволило выделить два этапа. В первом, 1993–2004 гг., развитие сырьевой базы меди характеризовалось низкой результативностью, во втором, с 2005 г. по настоящее время, – высокой. Далее представлена детализация каждого из этапов.

Развитие минерально-сырьевой базы меди в 1993–2004 гг. В этот этап балансовые запасы меди категорий ABC_1+C_2 снизились с 88 902,2 до 82 740,9 тыс. т, что главным образом было обусловлено эксплуатацией месторождений.

На «старых» месторождениях при эксплуатационной разведке, доразведке флангов и глубоких горизонтов, а также переоценке ранее выявленных блоков прирост балансовых запасов меди категорий $A+B+C_1+C_2$ составил 1076,4 тыс. т, что частично восполнило их сокращение до 82 124,6 тыс. т, вызванное добычей 7623,2 тыс. т и эксплуатационными потерями 230,8 тыс. т.

В результате геологоразведочных работ на государственный учёт были поставлены восемь «новых» месторождений меди (четыре существенно медных и четыре медьсодержащих) с суммарными балансовыми запасами C_1+C_2 633,6 тыс. т, в том числе промышленной категории C_1 106,2 тыс. т, из которой часть (17,3 тыс. т) была отработана на двух месторождениях (Камаганское и Искра). По крупности балансовых запасов семь «новых» месторождений являлись малыми. Единственным

среднемасштабным объектом стало сульфидное медно-никелевое Кингашское, расположенное на юге Красноярского края, его балансовые запасы категории C_2 составили 362,4 тыс. т меди.

Кроме того, по результатам ГРП государственным балансом стали учитываться шесть «новых» месторождений, содержащих только забалансовые запасы меди. Среди них три объекта по крупности запасов средние: два медноколчеданных Восточно-Подольское (191,2 тыс. т), Вишневское (112,4 тыс. т) в Республике Башкортостан и одно медно-сульфидное Чинейское, участок Рудный, в Забайкальском крае (145 тыс. т). Остальные объекты малые, в сумме их забалансовые запасы составили 25,2 тыс. т меди.

Во многом низкая результативность ГРП первого этапа обусловлена трансформацией отечественной экономики – переходом от плановой системы управления к рыночной, процессами фрагментации единого добывающего и горно-металлургического комплекса и относительно неблагоприятной рыночной конъюнктурой на медь.

Так, среднегодовое значение цены меди за 1993–2004 гг., по данным London Metal Exchange (LME), составило 2046 долл. за тонну, против 6750,3 долл. за тонну в 2005–2022 гг., что не позволило недропользователям направить необходимый объём инвестиций в геологоразведочные работы на выявление месторождений.

Развитие минерально-сырьевой базы меди в 2005–2021 гг. В этом этапе сырьевая база меди, несмотря на общее снижение запасов «старых» месторождений за счёт отработки и переоценки, вследствие высокой результативности геологоразведочных работ и постановки на учёт «новых» месторождений перешла от сокращения к росту, суммарные балансовые запасы увеличились с 82 740,9 до 102 668,5 тыс. т (рис. 1, А).

Общее уменьшение запасов «старых» месторождений категорий $A+B+C_1$ и C_2 во времени было неравномерным – в отдельные годы наблюдался даже их рост (Удоканское, Норильск I, Южная часть, Черногорское), который «компенсировался» значительным снижением за счёт экономической переоценки запасов Ждановского и Волковского месторождений (см. рис. 1, Б).

Прирост балансовых запасов по сумме категорий $ABC_1 + C_2$ составил 2568 тыс. т, что частично восполнило их дальнейшее сокращение до 70 861,7 тыс. т, вызванное добычей 13 424,9 тыс. т и эксплуатационными потерями 406 тыс. т.

Основной эффект интенсификации геологоразведочных работ проявился в увеличении количества «новых» месторождений меди с балансовыми запасами. Их количество достигло 50, а полученный прирост балансовых запасов составил 32 810,2 тыс. т. С учётом добычи и списания эксплуатационных потерь, 1619,7 тыс. т., на начало 2022 г. на «новых» месторождениях учтены 31 806,8 тыс. т меди. Из 50 месторождений 25 относятся к существенно медным с суммарными балансовыми запасами 30 053,6 тыс. т меди.

Также по результатам завершённых ГРП на учёт были поставлены два среднеразмерных месторождения меди, содержащие только забалансовые запасы категории C_2 . Это сульфидное медно-никелевое «Средне-Вологодчанская площадь», представленное Основным и Западным рудными телами Южно-Пясинского интрузива (910 тыс. т) в Норильском промышленном районе Красноярского края и медно-порфировое «Биргильдинский участок» (318,9 тыс. т) в Челябинской области.

Первое месторождение располагается в территориальной близости от разрабатываемых месторождений Норильского промышленного района – уникального (18 343,3 тыс. т Cu на начало 2022 г.) Октябрьского, крупных Талнахское и Норильск I, что в результате продолжения геологоразведочных работ в перспективе при благоприятной экономической ситуации может обеспечить наращивание балансовых запасов меди.

Для второго месторождения, «Биргильдинский участок», следует отметить его расположение во II поясе зоны санитарной охраны Шершнёвского водохранилища, являющегося источником централизованного водоснабжения г. Челябинска, что делает проблемным дальнейшее освоение этого месторождения.

В структуре балансовых запасов «новых» месторождений около трети их количества приходится на категорию C_2 . Это обусловлено наличием объектов, запасы которых оценены по результатам работ по временным разведочным кондициям, и, по существу, такие месторождения пока только предварительно подготовлены к возможной эксплуатации (Култуминское, Иканское, указанное выше Чинейское и др.).

В общем случае после подсчёта запасов на основе временных кондиций дальнейшая разведка месторождения, направленная на уточнение его геологического строения, утверждение постоянных кондиций с актуализированными экономическими

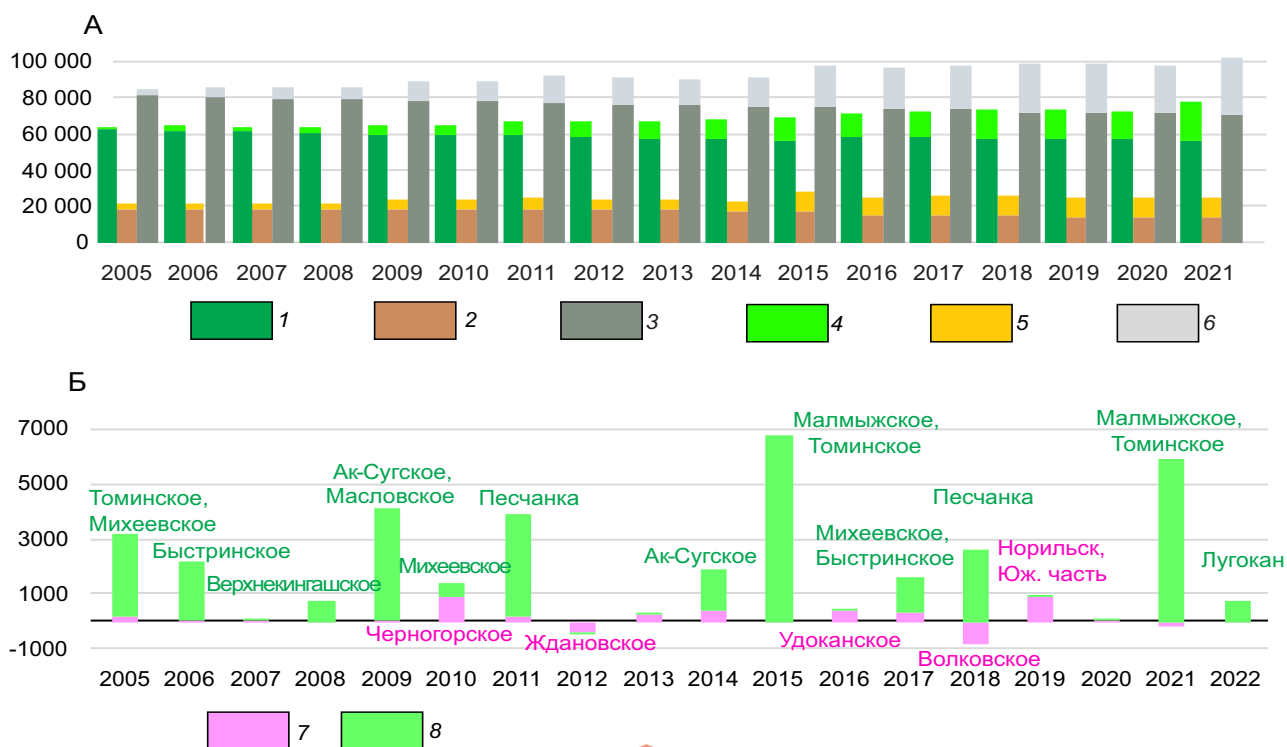


Рис. 1. Динамика балансовых запасов меди (тыс. т) на «старых» и «новых» месторождениях (А) и их прирост за счёт всех причин (Б):

месторождения меди: А: «старые»: 1 – ABC_1 , 2 – C_2 , 3 – ABC_1+C_2 , «новые»: 4 – BC_1 , 5 – C_2 , 6 – BC_1+C_2 ; Б: месторождения меди: 7 – «старые», 8 – «новые»; Черногорское месторождение отнесено к «старым», поскольку по результатам ГРП Госбалансом стали учитываться забалансовые запасы никеля и платиноидов (протокол ГКЗ №3321 от 1964 г.). После доразведки месторождения на государственный учет помимо балансовых запасов никеля и платиноидов также поставлены медь, кобальт, золото, серебро, селен, теллур, сера в сульфидных рудных месторождениях (протокол ГКЗ 2362 от 2010 г.)

параметрами разработки, допускает увеличение балансовых запасов и предполагает повышение в них доли промышленных категорий $A+B+C_1$ при снижении разведанной C_2 . Подобным примером является «новое» медно-порфировое месторождение Малмыжское в Хабаровском крае. При первоначальном подсчёте по временным кондициям (2015 г.) балансовые запасы категорий $B+C_1$ составили 1271 тыс. т, C_2 – 3885,4 тыс. т. Дальнейшая разведка месторождения, утверждение постоянных кондиций (2021 г.) привели к увеличению балансовых запасов по сумме категорий, при этом запасы категорий $B+C_1$ достигли 6180,9 тыс. т, кат. C_2 напротив снизились до 2128 тыс. т.

Вместе с тем повышение геологической изученности месторождения и подсчёт запасов по постоянным кондициям не всегда приводят к увеличению доли запасов промышленных категорий. Так,

на Томинском медно-порфировом месторождении в Челябинской области по результатам поисковых и оценочных работ на основе временных кондиций в 2005 г. на государственный учёт были поставлены балансовые запасы, содержащие только категорию C_2 , 1734,5 тыс. т. После проведения дальнейших ГРП на основе постоянных кондиций они дважды (2012, 2015 г.) переутверждались. В 2012 г. были впервые оценены запасы категорий $B+C_1$ – 743,3 тыс. т, соответственно запасы категории C_2 сократились до 793,2 тыс. т. В 2015 г. запасы каждой из указанных категорий увеличились соответственно до 1206,3 и 1418,7 тыс. т. В 2021 г. из-за необходимости наращивания сырьевой базы действующего предприятия постоянные кондиции были вновь скорректированы – суммарные балансовые запасы после их переоценки возросли на 46,6% до 3847,9 тыс. т. Основное

увеличение запасов произошло по категории C_2 (с 1418,7 до 2543,1 тыс. т) и было обусловлено как за счёт снижения бортового содержания меди с 0,30 до 0,15%, так и включения в подсчёт запасов глубоких горизонтов за пределами карьера.

В 2022 г., по предварительным данным ФБУ «ГКЗ», наращивание сырьевой базы меди вновь было обеспечено высокой результативностью ГРР, направленных на выявление «новых» месторождений. Прирост суммарных балансовых запасов в этой группе объектов достиг 738,9 тыс. т меди и, главным образом, был обеспечен утверждением на основе временных разведочных кондиций запасов среднего по крупности медно-порфирового месторождение Лугокан в Забайкальском крае – 603,7 тыс. т, в том числе по категории C_1 – 49,8 тыс. т. На «старых» месторождениях прирост за счёт доразведки составил только 13,7 тыс. т меди.

Распределение месторождений по промышленным типам руд и степени освоения. Сырьевая база меди на начало 2022 г. образована 178 месторождениями с общими запасами 102 668,5 тыс. т, в том числе учтены 15 объектов только с забалансовыми запасами.

Основной вклад в структуру балансовых запасов вносят 90 существенно медных месторождений, содержащих 98 352,4 тыс. т или 95,8% их количества по категориям $A+B+C_1+C_2$. По числу объектов различных промышленных типов и их доле в балансовых запасах от общероссийских они характеризуются следующим образом: сульфидные медно-никелевые 22 и 34,4%, медно-порфировые 6 и 23,9%, медистые песчаники и сланцы 1 и 19,6%, медноколчеданные 55 и 14,5%, скарновые 3 и 2,7%, ванадиево-железо-медные 1 и 0,8%, медистые глины 1 и 0,04%, медно-кобальтовые 1 и 0,003%.

Из пятнадцати медных месторождений только с забалансовыми запасами 13 являются существенно медными с общими запасами в 1804,9 тыс. т, из них наиболее крупное – «Средне-Вологодчанская площадь», 910 тыс. т.

Остальная часть общих балансовых запасов меди, 4316,1 тыс. т, сосредоточена на 73 медьсодержащих месторождениях. Они характеризуются значительным разнообразием типов руд (18). Наиболее крупными по сумме категорий запасов (более 600 тыс. т Cu) являются четыре типа: полиметаллические месторождения (24 объекта – 0,9% от балансовых запасов РФ), магнетитовые (6 и 0,8%), медно-платино-

металльные (2 и 0,8%), малосульфидные платинометалльные (7 и 0,6%). Остальные балансовые запасы меди, 1089,5 тыс. т, учтены на 34 месторождениях, охарактеризованных 14 типами руд.

Кроме того, забалансовые запасы меди поставлены на учёт на двух золото-колчеданных медьсодержащих месторождениях – в сумме 23,6 тыс. т.

В распределённом фонде недр на начало 2022 г. находились 102 месторождения из 163 с балансовыми запасами, содержащие меди 97 182,4 тыс. т или 94,7% от общероссийских: в том числе существенно медных 64 объекта, комплексных медьсодержащих 38, на которых соответственно учтены 94 555,4 и 2627 тыс. т.

При высоком уровне лицензирования сырьевой базы меди и определяющей роли в ней существенно медных месторождений между «старыми» и «новыми» объектами определены различия, которые рассмотрены ниже, при этом представлена динамика за 2005–2021 гг.

«Старые» месторождения. На «старых» месторождениях подавляющая часть балансовых запасов сосредоточена в рудах трёх промышленных типов: сульфидных медно-никелевых, медистых песчаниках и сланцах, а также медноколчеданных. В 2005–2021 гг. их вклад в запасы «старых» месторождений варьировал от 93,9 до 95,2% (рис. 2).

Сульфидные медно-никелевые руды. Этот промышленный тип руд является ведущим среди «старых» месторождений (см. рис. 2). Несмотря на сокращение балансовых запасов с 37 164,3 до 32 688 тыс. т в результате добычи, их доля от суммарного количества на «старых» объектах относительно стабильна и составляет 45,1–46,4%. Наиболее крупными месторождениями являются Октябрьское, Талнахское и Норильск I (входят в состав Норильской группы). По уровню промышленной освоенности они относятся к разрабатываемым, при этом содержат участки, подготавливаемые к освоению.

В распределённом фонде на начало 2022 г., за исключением двух малых объектов Аллареченского и Восток, находились все остальные месторождения с балансовыми запасами, содержащие почти 100% их количества. Фактором востребованности месторождений этого типа является наличие в рудах у ряда из них (Норильская группа) в существенном количестве платиноидов, обладающих высокой ценностью.

Медистые песчаники и сланцы. Все запасы этого типа учтены на Удоканском месторождении



Рис. 2. Динамика балансовых запасов «старых» месторождений меди по уровням промышленного освоения, тыс. т:

ВСЕ – все типы руд; СМН – сульфидные медно-никелевые; МПС – медистые песчаники и сланцы; МК – медноколчеданные; распределённый фонд (РФН), уровни освоения: РЗР – разрабатываемые: 1 – ABC_1 , 2 – C_2 , РЗК – разрабатываемые на другие компоненты: 3 – ABC_1 , 4 – C_2 , ПО – подготавливаемые к освоению: 5 – ABC_1 , 6 – C_2 , РЗВ – разведываемые: 7 – ABC_1 , 8 – C_2 ; нераспределённый фонд (НРФН): не переданные в освоение: 9 – ABC_1 , 10 – C_2

в Забайкальском крае. В настоящее время недропользователь «Удоканская медь» осуществляет горно-капитальные работы с попутной добычей, завершается строительство перерабатывающего комплекса, предусматривающего выпуск не только медного концентрата, но и катодной меди. Доля этого типа руд за 2005–2021 г. увеличилась с 24,5 до 28,3% на фоне общего снижения балансовых запасов из-за отработки других типов, прежде всего сульфидного медно-никелевого и медноколчеданного.

Медноколчеданные руды. Данный тип руд также характеризуется погашением запасов (см. рис. 2), в основном за счёт их эксплуатации. С 2005 по 2008 г. наблюдалось увеличение доли запасов месторождений, находящихся в распределённом фонде, с 63,1 до 94,1% вследствие лицензирования крупных объектов – Подольского, Кизил-Дере, Ново-Учалинского. В 2012 г. из-за аннулирования лицензии на месторождении Кизил-Дере запасы распределённого фонда «резко» сократились до 83,9%.

Переход, согласно Госбалансу, ряда месторождений (Западно-Озерное, Озерное и др.) в стадию разрабатываемых, «понижение» уровня промышленного освоения Ново-Учалинского и отнесение его к разведываемым в свою очередь привели к снижению количества подготавливаемых к разработке месторождений. При этом на Ново-Учалинском месторождении с 2018 г. ведётся добыча в процессе строительства проходческого комплекса шахты «Скипо-Клетевая».

«Новые» месторождения. Восстановление интереса и сосредоточение работ недропользователей на перспективных рудопроявлениях «нетрадиционного» для сырьевой базы СССР медно-порфирирового и скарнового типов, которые не были «доведены» до запасов в силу различных причин, и их успешное завершение обеспечили постановку на баланс крупных месторождений этих руд (рис. 3).

Положительными экономическими факторами этих объектов являются: открытый способ разработки, комплексный характер руд (кроме меди содержат золото и серебро, а также в зависимости от типа и конкретного месторождения – железо, молибден, рений), низкие удельные производственные издержки вследствие высокой годовой производительности и длительного срока эксплуатации.

Помимо медно-порфирирового и скарнового ещё одним важным типом по выявленным месторо-

ждениям и учтённым на них запасах являлся сульфидный медно-никелевый.

В сумме на месторождениях этих трёх промышленных типов на начало 2022 г. учитывалась основная часть балансовых запасов «новых» объектов, 29 862 тыс. т или 93,9% (см. рис. 3).

Медно-порфирировые руды. На шести объектах этого типа учтено меди 24 529,6 тыс. т или 77,1% балансовых запасов «новых» месторождений. В освоение вовлечены пять крупных месторождений – в стадии разработки находятся два, Томинское и Михеевское, в Челябинской области. Статус подготавливаемого к освоению имеет Ак-Сугское в Республике Тыва, разведываемых – Малмыжское в Хабаровском крае и Песчанка в Чукотском АО. Среднее по балансовым запасам Иканское в Амурской области находится в нераспределённом фонде по причине окончания срока действия лицензии.

Скарновый тип представлен тремя месторождениями распределённого фонда недр – крупным Быстринским, средним Култуминским (оба в Забайкальском крае) и малым Тарутинским (Челябинская область). Их суммарные балансовые запасы меди на начало 2022 г. составляли 2731 тыс. т или 8,6% от учтённых на «новых» месторождениях. В стадии разработки находится Быстринское, подготавливается Тарутинское. На Култуминском месторождении, согласно Государственному реестру работ по геологическому изучению недр [5], ООО «Восток Геосервис» ведутся работы по его дальнейшей разведке.

Сульфидные медно-никелевые руды. На восьми месторождениях этого типа на начало 2022 г. учтены 2601,3 тыс. т (8,2% от «новых» объектов). За исключением мелкого месторождения Соукер, все остальные объекты с балансовыми запасами (почти 100% их объёма) находятся в распределённом фонде. Единственным разрабатываемым является мелкое месторождение Шануч (Камчатский край). На остальных шести месторождениях, крупном Масловском (Норильская группа), средних Вернекингатском и Кингатском (*Кингатский рудный район на юге Красноярского края*) и Кун-Манье (Амурская область) и малых Елkinsкое и Еланское (Воронежская область), разведочные работы завершены, и они находятся в стадии подготовки к промышленному освоению.

Малый вклад «новых» месторождений **медно-колчеданных руд** в наращивание балансовых запасов (в 2005–2021 г. составил 178 тыс. т) обусловлен

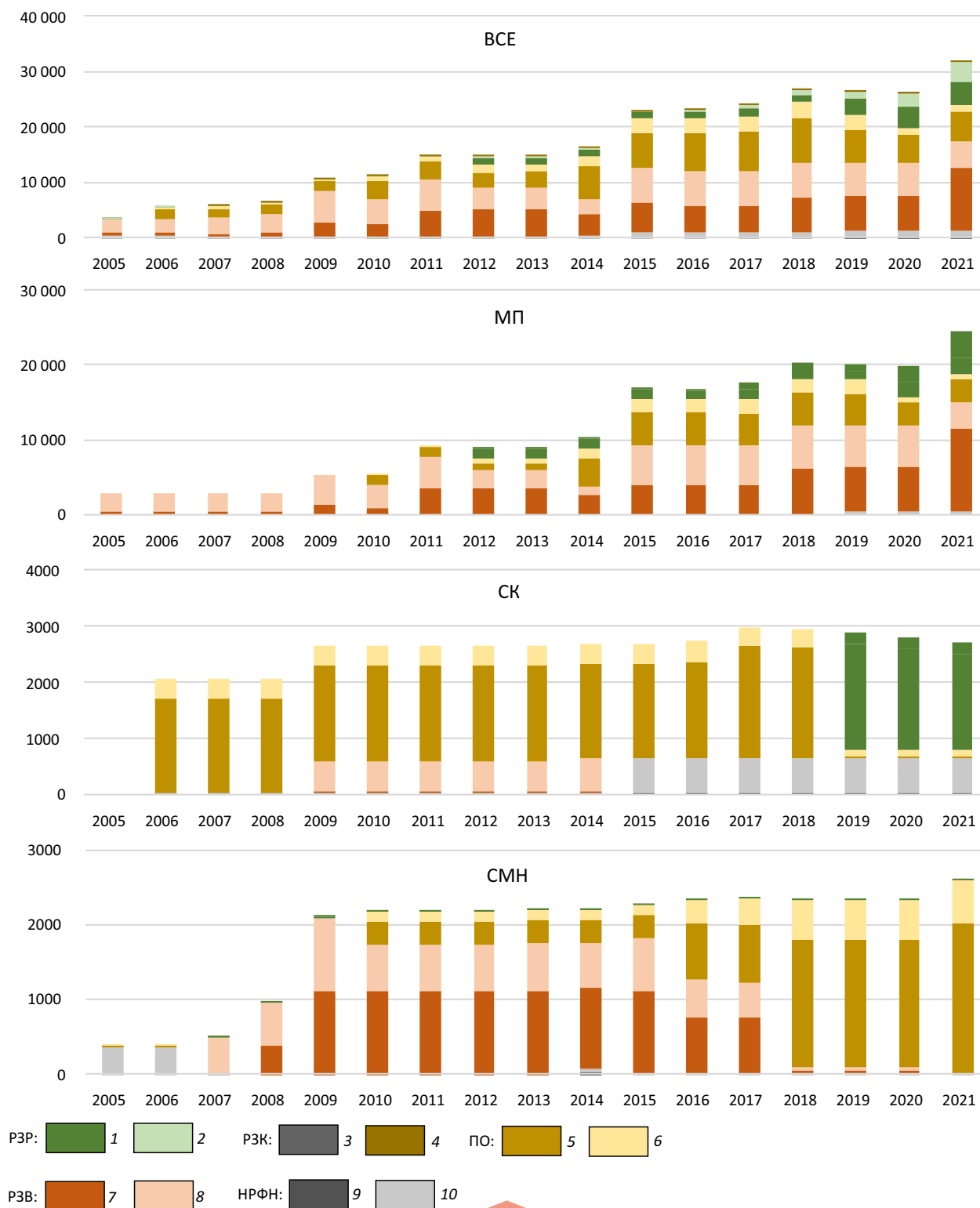


Рис. 3. Динамика балансовых запасов «новых» месторождений меди по уровням промышленного освоения, тыс. т:

ВСЕ – все типы руд, МП – медно-порфировые, СК – скарновые, СМН – сульфидные медно-никелевые; распределённый фонд (РФН), уровни освоения: РЗР – разрабатываемые: 1 – BC_1 , 2 – C_2 , РЗК – разрабатываемые на другие компоненты: 3 – BC_1 , 4 – C_2 , ПО – подготавливаемые к освоению: 5 – BC_1 , 6 – C_2 , РЗВ – разведываемые: 7 – BC_1 , 8 – C_2 ; нераспределённый фонд (НРФН): не переданные в освоение: 9 – BC_1 , 10 – C_2

интенсивной обработкой и незавершённостью геологоразведочных работ на ряде перспективных рудопроявлений.

Территориальное размещение «новых» месторождений отражает возрастание доли в сырьевой базе меди субъектов РФ, где ранее месторождения меди были представлены иными промышленными типами или не стояли на Госбалансе (см. таблицу). Вместе с тем в таких субъектах Федерации отсутствуют потребители сырья – объекты металлургического комплекса. При концентрации центров металлургии меди на Урале и севере Красноярского края в Норильском промышленном районе это не исключает того, что не все полученные при переработке руд на «новых» месторождениях медные или коллективные медьсодержащие концентраты будут поставлены на отечественные металлургические заводы, а по экономическим причинам будут экспортированы. В силу меньшей стоимости меди в концентратах относительно продуктов их переработки (черновой и рафинированный металл) это не позволит достичь наибольшего экономического эффекта от освоения недр. Для повышения степени переработки меди в концентратах на территории Дальнего Востока, например в Хабаровском или Приморском краях, необходимо создание такого центра. В реализации проекта могут принять участие как сами недропользователи, так и другие бизнес-структуры, хотя для этого необходима поддержка государства.

Также среди «старых» и «новых» объектов Госбалансом выделены 14 месторождений, разрабатываемых на другие компоненты, все они представлены медьсодержащими рудами. Добытая медь полностью теряется при обогащении руд или металлургическом переделе. На начало 2022 г. на таких объектах были учтены 319,2 тыс. т суммарных балансовых запасов меди, что составляет 0,3% от общероссийских и не влияет на состояние сырьевой базы.

Факторы динамики запасов промышленных категорий. Согласно Госбалансу для промышленных категорий запасов представлена детализация их изменения по показателям «разведки» и «переоценки», что позволяет провести их сравнение. Показатель «разведки» включает данные о постановке на учёт «новых» месторождений, доразведке и переутверждении запасов, эксплуатационно-разведочных работах, доразведке и добыче в контуре запасов категории C_2 при их на-

личии. Показатель «переоценки» – сведения о переутверждённых по экономическим причинам запасах, данные о доразведке и добыче забалансовых руд.

На «старых» месторождениях прирост балансовых запасов промышленных категорий в результате «разведки» за 2005–2021 гг. составил 23 093,3 против соответствующего показателя «новых» в 21 969,6 тыс. т (рис. 4). Это различие обусловлено доразведкой и геолого-экономической переоценкой в современных условиях Удоканского месторождения. Согласно протоколу ГКЗ 4551 от 2016 г., по категориям $B+C_1$ были утверждены запасы меди 16 864 тыс. т (Госбалансом учтены в «разведке»), при этом из-за отмены ранее принятого решения (протокол ГКЗ 8810 от 1981 г.) списаны 14 434,6 тыс. т. запасов указанных категорий (Госбалансом учтены в «переоценке»).

На остальных «старых» месторождениях меди суммарный прирост от «разведки» составил 6229,3 тыс. т. В том числе на двух сульфидных медно-никелевых месторождениях – Октябрьском и Талнахском в Норильском промышленном районе – 3745,1 тыс. т. Суммарный прирост запасов промышленных категорий на этих месторождениях стабильно обеспечивается за счёт эксплуатационно-разведочных работ на участках сплошных (богатых) и «медистых» руд, по каждому типу соответственно 1695,5 и 1874,8 тыс. т. При этом на вкрапленный тип руд пришлось 174,8 тыс. т.

В отдельные годы на «старых» месторождениях отмечается значительный прирост запасов ABC_1 в результате проведения разведочных работ и на других объектах – Норильск I, Южная часть, Ново-Учалинское, Черногорское, Сафьяновское.

Также для «старых» объектов характерно списание запасов промышленных категорий по «переоценке», что, как показывает пример с Удоканским месторождением, вызвано переутверждением ранее оценённых запасов согласно современным экономическим условиям и рыночной конъюнктуре.

Для «новых» объектов в целом отмечен наибольший прирост промышленных запасов категорий $B+C_1$ в результате проведения «разведки» на крупных месторождениях; а на действующих предприятиях – из-за необходимости расширения сырьевой базы в «переоценке». Так, прирост на Михеевском (2017 г.) и Томинском (2021 г.) месторождениях был обеспечен снижением бортовых содержаний меди соответственно с 0,2 до 0,15%

Территориальное распределение поставленных в результате ГРР на Госбаланс «новых» месторождений меди с балансовыми запасами

Субъект Федерации	Количество месторождений, поставленных на учёт		Балансовые запасы месторождений, поставленных на учёт, тыс. т				Прирост балансовых запасов за 2005–2021 гг.	Типы руд месторождений
	2005–2021	Среднее за год	Всего	Min	Max	Среднее		
Мурманская область	6	0,35	201,7	5,4	121,5	33,6	493,5	МСП, СМН
Республика Карелия	4	0,24	136,6	2,1	120,1	34,2	247,5	МСП, МЗ, УВ
Челябинская область	4	0,24	3038	6,3	1734,5	759,5	6946,6	МП, СК, МЗ
Забайкальский край ¹	4	0,24	3451,2	15,8	2073,4	862,8	3737,3	СК, МПЛ, МЗ
Республика Башкортостан ¹	4	0,24	49,1	3,8	26,2	12,3	199	МК, МКБ, ЗК
Свердловская область	3	0,18	51,9	13,3	24,2	17,3	52	МК, ПМ
Оренбургская область	3	0,18	20,8	1,5	15,2	6,9	19,8	МК
Хабаровский край	2	0,12	5206,5	50,1	5156,4	2603,3	8359	МП, МПЛ
Красноярский край	2	0,12	1670,9	548,7	1122,2	835,5	1729,7	СМН
Амурская область	2	0,12	492,2	33,2	459	246,1	801,1	МП, СМН
Воронежская область	2	0,12	56,9	15,2	41,7	28,5	76,1	СМН
Республика Саха (Якутия)	2	0,12	9,2	1,9	7,3	4,6	8,9	СР
Чукотский АО	1	0,06	3730,7	3730,7	3730,7	3730,7	6400,2	МП
Республика Тыва	1	0,06	2349,2	2349,2	2349,2	2349,2	3633,3	МП
Республика Алтай	1	0,06	54,4	54,4	54,4	54,4	54,4	СКБ
Магаданская область	1	0,06	3,7	3,7	3,7	3,7	3,7	СР
Республика Бурятия	1	0,06	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	ПМ
Алтайский край	1	0,06	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	ПМ
Приморский край	1	0,06	1	1	1	1	1	ВЛ
ВСЕГО	45						32 766,1¹	

Примечание. ¹ В Забайкальском крае и Республике Башкортостан с учётом «новых» месторождений, на которых до 2005 г. были разведаны только забалансовые запасы, ещё 44,1 тыс. т было доразведано на «новых» месторождениях, на которых до 2005 г. учитывались балансовые запасы. Цветом отмечены субъекты Российской Федерации, в которых результаты ГРР обеспечили основной вклад в наращивание сырьевой базы меди; промышленные типы руд меди (в классификации Госбаланса): ВЛ – вольфрамовые, ЗК – золото-колчеданные, МЗ – медно-золоторудные, МК – медноколчеданные, МКБ – медно-кобальтовые, МП – медно-порфиновые, МПЛ – медно-платинометалльные, МСП – малосульфидные платинометалльные, ПМ – полиметаллические, СК – скарновые, СКБ – сульфидные кобальтовые, СМН – сульфидные медно-никелевые, СР – серебряные, УВ – уран-ванадиевые; полужирным шрифтом отмечены типы, являющиеся среди остальных определяющими.



Рис. 4. Динамика прироста (убыли) балансовых запасов меди кат. (А)ВС₁ на «старых» (розовый) и «новых» (зелёный) месторождениях за счёт разведки и переоценки и основные объекты в этих изменениях, тыс. т

и с 0,3 до 0,15% и средних содержаний металла в суммарных балансовых запасах с 0,44 до 0,367% и с 0,45 до 0,35%.

По предварительным итогам 2022 г., базирующимся на анализе результатов экспертиз запасов (ФБУ «ГКЗ»), основные изменения в промышленных запасах произошли за счёт переоценки медно-

колчеданного Ново-Учалинского месторождения, относящегося к «старым», которая привела к снижению запасов категорий АВС₁ на 241 тыс. т, и входящего в группу «новых» медьсодержащего малосульфидного платинометаллического месторождения Федорова Тундра, где прирост составил 66,3 тыс. т.

Таким образом, можно констатировать, что в рассматриваемый период в основном завершено лицензирование месторождений меди – доля балансовых запасов, учтённых в нераспределённом фонде с 2005 г. на начало 2022 г. сократилась с 38 до 5,3%. Дальнейшее лицензирование объектов, не переданных в освоение, включая единственное крупное месторождение Кизил-Дере, осложнено факторами, влияющими на решение потенциального инвестора: это экологические риски, давность года последней экспертизы запасов и др. Ряд крупных месторождений как «старых», так и «новых», ранее не охваченных эксплуатационными работами, находится на завершающей стадии подготовки к освоению (ведётся строительство объектов добывающего комплекса и сопутствующей инфраструктуры, осуществляется попутная добыча или проводятся горно-капитальные работы).

Также лицензирование месторождений в 2005–2021 гг., содержащих основную часть запасов меди, привело к их сосредоточению в семи горнодобывающих компаниях. При этом у владельцев данных активов отмечается наличие определённой рудной специализации – доли балансовых запасов от их общего объёма. Так, портфель компании ПАО «ГМК «Норильский никель»» преимущественно сформирован сульфидными медно-никелевыми месторождениями (почти 94%), при определяющей роли Октябрьского и Талнахского в Норильском промышленном районе; ООО «Удоканская медь» подготавливает к промышленной эксплуатации одноимённое месторождение медистых песчаников и сланцев; в активах АО «Русская медная компания» преобладают (97,3%) медно-порфировые объекты (Малмыжское, Томинское, Михеевское); у ОАО «Уральская горно-металлургическая компания» – медноколчеданных (88,6%), (Гайское, Подольское, Юбилейное, Ново-Учалинское и др.). Среди остальных компаний, владеющих крупными месторождениями, пока находящихся в стадии подготовки к эксплуатации, эта особенность сохраняется: ООО «ГДК Баимская» (KAZ Minerals Plc) принадлежит медно-порфировое месторождение Песчанка; у ООО «Русская Платина» практически все объекты представлены сульфидными медно-никелевыми рудами (Норильск I, Южная часть, Черногорское), на которых сосредоточены почти 98% балансовых запасов меди. Группа «Онэксим» является исключением, на медно-порфировом Ак-Сугском месторождении учтены 77,3% балансовых запасов меди ком-

пании, остальные 22,7% – на сульфидных медно-никелевых месторождениях Кингашское и Верхнекингашское.

Добыча меди в РФ из руд, несмотря на снижение в отдельные годы, в целом имеет положительную динамику, увеличившись к 2021 г. по сравнению с 2005 г. почти в 1,5 раза – до 1146,8 тыс. т. В её структуре наблюдаются постепенное снижение доли «старых» месторождений и увеличение «новых», вклад которых вырос с 0,1 в 2005 г. до 35,1% в 2021 г.

Основной объём добываемой меди на «старых» месторождениях обеспечивается из двух промышленных типов руд (рис. 5), сульфидного медно-никелевого, главным образом, при разработке Октябрьского и Талнахского месторождений, и медноколчеданного, при эксплуатации объектов Южного и Среднего Урала. В различные годы доля первого типа варьировала от 56,3 до 65,8%, второго от 31 до 39,8%. Вклад месторождения медистых песчаников и сланцев пока незначителен, как отмечено выше, в 2020 г. недропользователь приступил к горно-капитальным работам с попутной добычей, и по мере выхода на проектную производительность доля этого типа в структуре добычи «старых» месторождений возрастёт.

В добыче на «новых» месторождениях (см. рис. 5) отмечено последовательное изменение ведущего (более 50%) промышленного типа руд, за счёт которых она обеспечивается. До 2013 г. в добыче лидировал медноколчеданный, далее его доля стала сокращаться, и в 2021 г. она составила 1,5%. Это было обусловлено началом разработки (2012 г.) медно-порфирового Михеевского месторождения, что с 2013 г. вывело этот тип на первое место. В последующие годы с вовлечением в эксплуатацию ещё одного месторождения, Томинского, вклад медно-порфировых руд в добычу среди «новых» объектов достиг в 2021 г. 78,1%. Начало разработки скарнового Быстринского месторождения (2015 г.) в 2017–2021 г. обеспечило этому промышленному типу устойчивое второе место, а его доля варьировала в интервале 17,8–29,7%.

Техногенные месторождения меди. Помимо рудных месторождений в сырьевой базе меди повышается значение техногенных объектов, сформированных в процессе переработки руд и концентратов различного типа (рис. 6). Все учтённые Госбалансом месторождения являются «новыми». По результатам ГРП, два объекта, «Шлакоотвал медеплавильного производства Среднеуральского

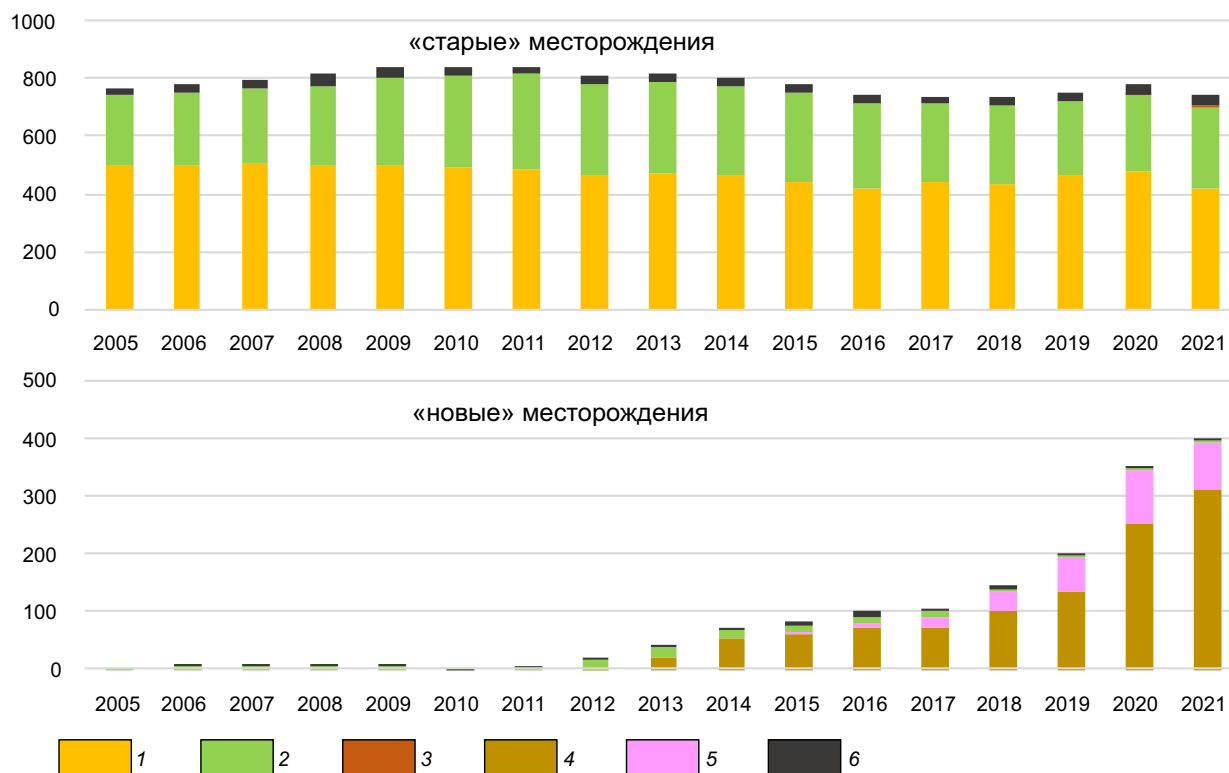


Рис. 5. Добыча меди на «старых» и «новых» месторождениях и основные типы руд их обеспечившие, тыс. т:
 типы руд: 1 – СМН (сульфидные медно-никелевые), 2 – МК (медноколчеданные), 3 – МПС (медистые песчаники и сланцы), 4 – МП (медно-порфировые), 5 – СК (скарновые), 6 – прочие

медеплавильного завода (СУМЗ)» (74,4 тыс. т) и «Сорьинское хвостохранилище Красноуральской ОФ» (29,3 тыс. т), были поставлены на баланс в 2004 г., месторождения «Кировградские пиритные огарки», «Озеро Барьерное», «Отвалы Аллареченского месторождения», «Черемшанское шламохранилище», «Шлакоотвал № 1 металлургического производства Кировградского медеплавильного комбината» с 2005 г. Общий прирост балансовых запасов меди за 2005–2021 гг. составил 358,4 тыс. т. Наибольший вклад в прирост запасов был обеспечен тремя месторождениями: «Хвостохранилищем центральной обогатительной фабрики (ЦОФ) Солнечного ГОКа» (Хабаровский край) – 130,9 тыс. т, «Хвостохранилищем № 1 Норильской обогатительной фабрики (НОФ)» – 105,5 тыс. т, «Шлакоотвалом медеплавильного производства СУМЗ» – 93,9 тыс. т.

Добыча меди на техногенных месторождениях в 2005–2021 гг. варьировала от 8 до 16,5 тыс. т и в сумме составила 189,1 тыс. т, большая часть

которой (168,3 тыс. т) была обеспечена разработкой «Шлакоотвала медеплавильного производства СУМЗ».

Проявление интереса недропользователей к изучению техногенных месторождений (проведение разведки с оценкой запасов и постановкой их на Госбаланс), как представляется, связано с относительно благоприятной ценовой конъюнктурой (по данным London Metal Exchange (LME) и London Bullion Market Association (LBMA) на содержащиеся в рудах цветные и благородные металлы, что обеспечивает их рентабельную эксплуатацию. В 2005–2021 г. среднегодовая цена меди варьировала от 3679,3 до 9314,7 долл. за тонну, а среднее значение составило 6628,8 долл. за тонну. Уровни цен по другим компонентам, определяющим стоимость товарной продукции, соответственно в 2005–2021 гг. составили: никеля – от 9597,6 до 37225,6 при среднем 17484,2 долл. за тонну, золота – от 444,9 до 1799,6 при среднем 1212,8 долл. за тр. унц., палладия – от 201,7 до 2394,2 при

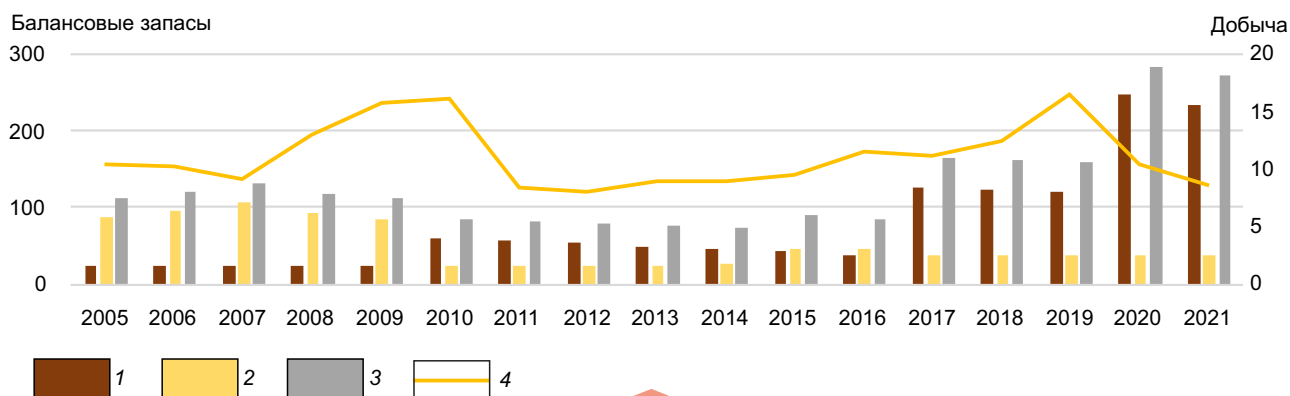


Рис. 6. Динамика балансовых запасов меди на техногенных месторождениях и их добыча, тыс. т:

балансовые запасы, категории: 1 – BC_1 , 2 – C_2 , 3 – BC_1+C_2 , 4 – добыча

среднем 838,7 долл. за тр. унц., платины – от 863,4 до 1720,1 при среднем 1210,8 долл. за тр. унц.

Прогноз развития сырьевой базы. В среднесрочной перспективе, согласно утверждённым проектам освоения месторождений меди (ЦКР-ТПИ Роснедр), отчётности компаний-недропользователей и экспертной оценке по введению в эксплуатацию изучаемых в настоящее время объектов, прогнозируется дальнейшее наращивание добычи меди в РФ до 2035 г. В 2035 г. ожидается её максимум – 3015 тыс. т, после последует снижение до 2389 тыс. т в 2040 г., если к 2035 г. не будут выявлены и разведаны новые месторождения. В динамику роста добычи на «старых» месторождениях основной вклад внесёт Удоканское месторождение, на «новых» – медно-порфиновые Малмыжское, Песчанка и др.

Также к 2027 г. вероятно достижение относительного количественного паритета добычи (в процентах) по «старыми» и «новыми» месторождениям (рис. 7).

В результате прогнозируемого объёма добычи балансовые запасы меди, учтённые на «старых» месторождениях на начало 2022 г., снизятся с 70 861,7 до 46 900,3 тыс. т на конец 2040 г., на «новых» – с 31 806,8 до 9991,2 тыс. т.

Для их компенсации, согласно определённому Стратегией уровню воспроизводства сырьевой базы меди в 50%, за 2022–2040 г. требуется восполнить не менее 22 889 тыс. т.

Исходя из анализа ретроспективы, уже стоящие на Госбалансе месторождения, как «старые», так и «новые», только отчасти могут решить поставленную задачу при их дальнейшей разведке,

включая фланги и глубокие горизонты, и возможной переоценке ранее подсчитанных блоков.

Примером объектов, обладающих потенциалом роста запасов, являются скарновое Култуминское в Забайкальском крае, медно-порфировое Иканское в Амурской области (объект находится в нераспределённом фонде с 2019 г. из-за аннулирования лицензии по причине истечения срока действия).

Основным фактором воспроизводства сырьевой базы, как и ранее, являются геологоразведочные работы, направленные на выявление «новых» месторождений, при этом их интенсивность должна в целом соответствовать рассмотренному выше высокорезультативному периоду 2005–2021 гг.

Заделом воспроизводства запасов меди является выявленный ресурсный потенциал, однако он характеризуется рядом особенностей как по количеству учтённых объектов, на которых апробированы прогнозные ресурсы наиболее достоверных категорий P_1 и P_2 , так и по геолого-промышленным типам.

Для оценки количества подготовленных прогнозных ресурсов меди нами они с использованием статистически-обоснованных коэффициентов [2] пересчитаны в категорию условных запасов C_2 .

На начало 2022 г. Сборником прогнозных ресурсов твёрдых и твёрдых горючих (уголь) полезных ископаемых Российской Федерации [4] учтено 138 объектов, на которых апробированы ресурсы меди категорий P_1 или P_2 , или сразу обеих категорий. В результате приведения их к условным запасам категории C_2 с использованием статистически-обоснованных коэффициентов [2] оценено

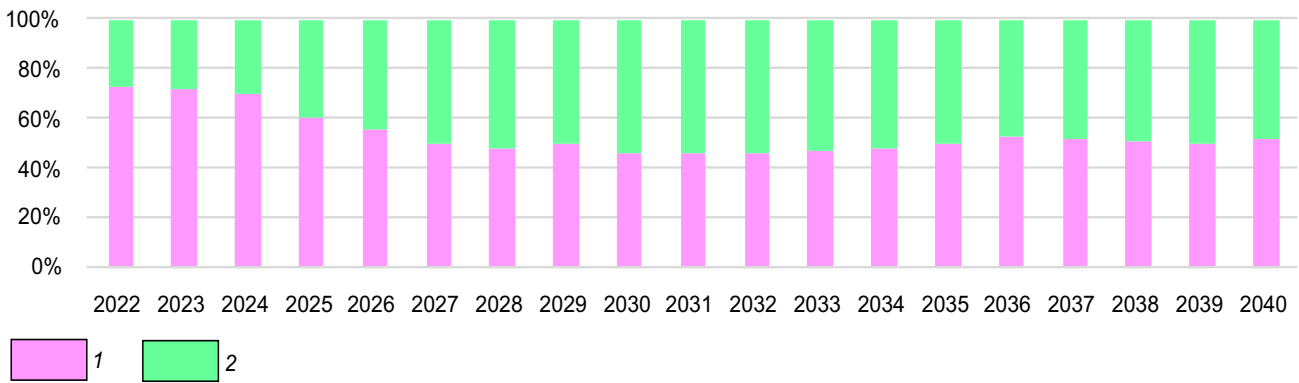


Рис. 7. Структура изменения добычи меди в 2022–2040 гг. по вкладу «старых» и «новых» месторождений, %: месторождения: 1 – «старые», 2 – «новые»

вероятное их суммарное значение по всем объектам в 16687,9 тыс. т при условии успешного завершения геологоразведочных работ на каждом объекте. Как показал анализ [2], при переводе прогнозных ресурсов в вышестоящие категории и запасы (P_2 в P_1 , P_1 в C_2) вероятность такого завершения составляет 50%, что значительно снижает приведённое значение возможных полученных из прогнозных ресурсов запасов категории C_2 .

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

В соответствии с данными документов апробации 130 из 138 ресурсных объектов экспертно объединены в четыре основных типа, представленных ниже, для каждого приведены значения ресурсного потенциала в условных запасах категории C_2 :

- *Медноколчеданный* тип. В группу входят 56 медноколчеданных объектов и один медноцинково-колчеданный, в сумме на них оценено 6065,8 тыс. т меди.

- *Медно-порфировый* включает 12 объектов с 5393,5 тыс. т меди следующих типов: медно-порфировый, медно-молибден-порфировый, молибден-медно-порфировый, золото-медно-порфировый. По промышленному типу эта группа объектов соответствует медно-порфировым месторождениям.

- *Сульфидный медно-никелевый* тип представлен медно-никелевыми, сульфидными медно-никелевыми и сульфидными медно-никелевыми

платиносодержащими объектами, всего 30, которые содержат 2640 тыс. т меди.

- *Колчеданно-полиметаллические* ресурсные объекты (31) с 1379 тыс. т меди. Этот тип соответствует полиметаллическим месторождениям.

Остальные восемь объектов представлены шестью геолого-промышленными типами, на которых учтено 1209,6 тыс. т меди. Из них наиболее крупными по количеству оценённых условных запасов категории C_2 являются три:

1. *Медистые скарны*, «фланги Гумешевского месторождения», 455 тыс. т. В Госбалансе руды этого месторождения отнесены к типу медистых глин.

2. *Золото-медно-железородный*, «Култуминское рудное поле», 341 тыс. т. Одноимённое месторождение в Госбалансе определено как скарновое.

3. *Малосульфидный платинометалльный медно-никелевый*, «рудопроявление Поаз», 271,3 тыс. т. Последний объект соответствует малосульфидным платинометалльным месторождениям.

Из 138 объектов по количеству учтённых на них прогнозных ресурсов, пересчитанных на условные запасы категории C_2 , один, «Баимский рудный узел (с Находкинским рудным полем)», является крупным (1293,6 тыс. т), 49 средними (100–693 тыс. т), остальные 88 мелкие (0,8–92 тыс. т). Для 49 средних объектов в силу неоднородности значений выделены три количественные группы (в тыс. т), 100–210, 271–455, 504–693 (рис. 8).

Поскольку воспроизводство сырьевой базы меди, как показал анализ, определяется, главным

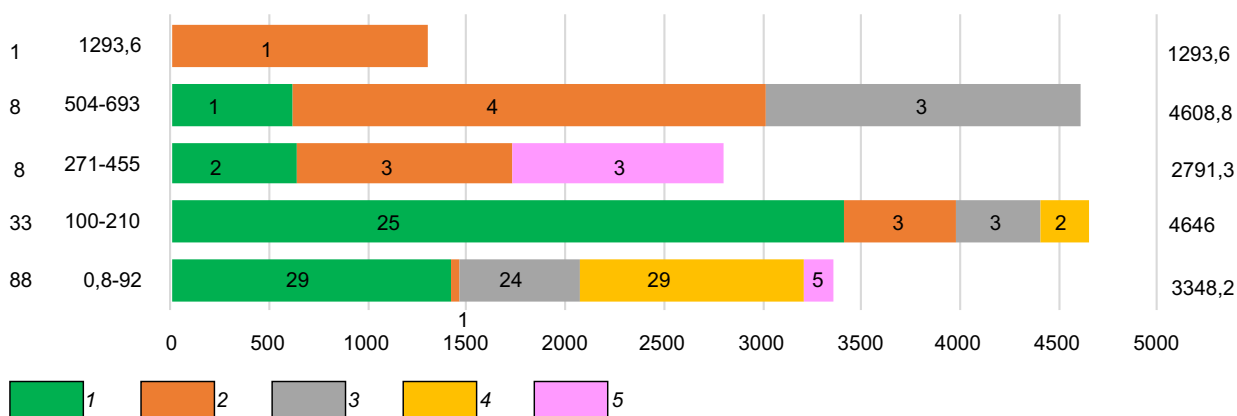


Рис. 8. Распределение прогнозных ресурсов меди в условных запасах кат. C_2 по типам руд, количеству объектов учёта и их крупности, тыс. т:

значения слева – всего объектов в каждой группе, справа – всего ресурсов с условных запасах кат. C_2 (тыс. т); типы руд: 1 – МК (медноколчеданные), 2 – МП (медно-порфировые), 3 – СМН (сульфидные медно-никелевые), 4 – КПМ (колчеданно-полиметаллические), 5 – прочие

образом, постановкой в результате ГРР на государственный учёт крупных и средних месторождений, то среди 138 объектов таким потенциалом формально обладают 50, на которых из 16 687,9 тыс. т условных запасов категории C_2 меди сосредоточены 13 339,7 тыс. т. Однако 6 из 50 объектов являются флангами и глубокими горизонтами известных месторождений (Октябрьское, Подольское, Гайское и др.), и перевод учтённого на них ресурсного потенциала 2100 тыс. т в условных запасах в фактические запасы должен рассматриваться с позиции доразведки, а не как выявление «нового» месторождения. Также у большей части объектов, отнесённых к средним, 33 из 49, с суммарным ресурсным потенциалом 4646 тыс. т, индивидуальные значения находятся в пределах 100–210 тыс. т, что ограничивает выявление значимых по запасам медных месторождений или существенное увеличение запасов на уже известных.

Распределение значений по геолого-промышленным типам (см. рис. 8) также показывает, что основной вклад в прирост запасов (доразведка известных месторождений, выявление «новых») могут обеспечить медно-порфировые и сульфидные медно-никелевые объекты, у которых основная часть ресурсного потенциала в условных запасах категории C_2 2389,8 и 1603 тыс. т, сосредоточена в группе значений 504–693 тыс. т, а медно-порфировый «Баимский рудный узел (с Находкинским

рудным полем)» является единственным крупным объектом (1293,6 тыс. т). У медноколчеданного типа потенциал наращивания запасов ниже из-за концентрации основного количества условных запасов категории C_2 (3405,6 тыс. т.) в группе значений 100–210 тыс. т, что лишь отчасти может повысить устойчивость сырьевой базы близлежащих разрабатываемых или подготавливаемых к отработке медноколчеданных месторождений.

Таким образом, имеющийся ресурсный потенциал в целом недостаточен по числу крупно- и среднеразмерных объектов, которые могут обеспечить ощутимый вклад в воспроизводство балансовых запасов меди. Для восполнения ресурсного потенциала значимыми объектами категорий P_1 и P_2 требуется усиление работ ранних стадий за счёт средств федерального бюджета на перспективных площадях с прогнозными ресурсами категории P_3 . Новым и важным направлением для современной России в среднесрочной перспективе (с 2023 г.) является постановка прогнозно-минерагенических работ масштаба 1:200 000 и детальнее в пределах слабоизученных территорий, направленных на локализации площадей, перспективных для постановки поисковых работ на выявление меднорудных объектов.

Резюме. Отечественная минерально-сырьевая база меди значительна, большая часть месторождений с балансовыми запасами передана в недропользование. В 2005–2021 г. вследствие высокой

результативности геологоразведочных работ поставлены на государственный учёт 45 «новых» месторождений с балансовыми запасами. Основной вклад в воспроизводство балансовых запасов обеспечили «новые» месторождения медно-порфирирового типа. Прогнозируемое в 2022–2040 гг. увеличение добычи сократит сырьевую базу меди. Имеющийся ресурсный потенциал только час-

точно может восполнить прогнозируемое из-за добычи погашение запасов. Для эффективного наращивания сырьевой базы меди необходимо усиление работ ранних стадий (прогнозно-минерагенических), направленных на выделение перспективных площадей для проведения поисковых работ и выявления перспективных объектов с прогнозными ресурсами высоких категорий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иванов А. И., Алексеев Я. В., Черных А. И., Наумов Е. А., Куликов Д. А., Барышев А. Н., Донец А. И., Конкин В. Д. Российские золоторудные месторождения – аспекты открытия // Отечественная геология. – 2021. – № 3. – С. 3–21.
2. Иванов А. И., Черных А. И., Вартанян С. С. Состояние, перспективы развития и освоения минерально-сырьевой базы золота в Российской Федерации // Отечественная геология. – 2018. – № 1. – С. 18–28.
3. Постановление Правительства РФ от 11.02.2005 года № 69 «О государственной экспертизе запасов

полезных ископаемых и подземных вод, геологической информации о предоставляемых в пользование участках недр, размере и порядке взимания платы за ее проведение (с изменениями на 12 ноября 2020 года)».

4. Черные, цветные, редкие металлы и уран. Выпуск 1 // Сборник «Прогнозные ресурсы твёрдых и твёрдых горючих (уголь) полезных ископаемых Российской Федерации на 1 января 2022 года». – М.: ФГБУ «Росгеолфонд», 2022. – 280 с.
5. Государственный реестр работ по геологическому изучению недр [Электронный ресурс]. – URL: <https://rfgf.ru/ReestrGin>. (дата обращения: 19.01.2023)

REFERENCES

1. Ivanov A. I., Alekseyev Ya. V., Chernykh A. I., Naumov Ye. A., Kulikov D. A., Baryshev A. N., Donets A. I., Konkin V. D. Rossiyskiye zolotorudnyye mestorozhdeniya – aspekty otkrytiya [Russian gold deposits – Aspects of Discovery]. Otechestvennaya geologiya [Domestic geology], 2021, No. 3, pp. 3–21. (In Russ.)
2. Ivanov A. I., Chernykh A. I., Vartanyan S. S. Sostoyaniye, perspektivy razvitiya i osvoyeniya mineral'no-syr'yevoy bazy zolota v Rossiyskoy Federatsii [Status, prospects for the development and development of the mineral resource base of gold in the Russian Federation]. Otechestvennaya geologiya [Domestic geology], 2018, No. 1, pp. 18–28. (In Russ.)
3. Postanovleniye Pravitel'stva RF ot 11.02.2005 goda № 69 "O gosudarstvennoy ekspertize zapasov poleznykh iskopayemykh i podzemnykh vod, geologicheskoy informatsii o predostavlyayemykh v pol'zo-

vaniye uchastkakh neдр, razmere i poryadke vzimaniya platy za yeye provedeniye (s izmeneniyami na 12 noyabrya 2020 goda)". [Decree of the Government of the Russian Federation of February 11, 2005 No. 69 "On the state examination of mineral reserves and groundwater, geological information on subsoil plots provided for use, the amount and procedure for charging fees for its implementation (as amended on November 12, 2020)".] (In Russ.)

4. Chernyye, tsvetnyye, redkiye metally i uran. Vypusk 1 [Ferrous, non-ferrous, rare metals and uranium. Issue 1]. Sbornik "Prognoznyye resursy tverdykh i tverdykh goryuchikh (ugol') poleznykh iskopayemykh rossiyskoy federatsii na 1 yanvarya 2022 goda" [Collection "Forecast resources of solid and solid combustible (coal) minerals of the Russian Federation as of January 1, 2022"], Moscow, FGBU "Rosgeolfond" publ., 2022, 280 p. (In Russ.)
5. State register of works on the geological study of the subsoil, available at: <https://rfgf.ru/ReestrGin>. (19.01.2023)

Статья поступила в редакцию 02.02.23; одобрена после рецензирования 17.02.23; принята к публикации 20.02.23. The article was submitted 02.02.23; approved after reviewing 17.02.23; accepted for publication 20.02.23.

Флюидный режим формирования Олимпиадинского золото-сульфидного месторождения

Методами микротермометрии и КР-спектроскопии газовых и газовой-жидких включений в кварце определены *PTX*-параметры флюидов, сформировавших Олимпиадинское золото-сульфидное месторождение. Слабо-золотоносные метаморфогенные пирротин-кварцевые прожилки образовались при участии окисленного ($\text{CO}_2 / \text{CH}_4 = 10\text{--}100$) азотно-углекислотного флюида при температурах 410–360 °С и давлении $2,4 \pm 0,2$ кбар. Золото-арсенопиритовая минерализация была сформирована глубинным восстановленным ($\text{CO}_2 / \text{CH}_4 \sim 1$) метан-углекислотно-азотным флюидом в интервале температур 360–300 °С при давлении $1,2 \pm 0,1$ кбар, золото-антимонитовая – азотно-метановым флюидом при температурах 290–240 °С и давлении $0,8 \pm 0,1$ кбар. Рудообразование протекало в гетерогенной среде при активном участии газовой фазы в качестве транспортирующего агента.

Ключевые слова: Олимпиадинское месторождение, флюидные включения, температура, давление, состав флюидов.

КРЯЖЕВ СЕРГЕЙ ГАВРИЛОВИЧ, доктор геолого-минералогических наук, начальник отдела, s34@mail.ru

БЕРКОВСКИЙ ЕВГЕНИЙ МИХАЙЛОВИЧ, инженер 1 категории

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

Fluid regime of Olimpiada gold deposit formation

S. G. KRYAZHEV, E. M. BERKOVSKY

Central Research Institute of Geological Prospecting for Base and Precious Metals, Moscow

The *PTX*-parameters of the fluids formed the Olimpiada gold deposit were determined using microthermometry and Raman spectroscopy of carbonic ($\text{CO}_2\text{-N}_2\text{-CH}_4$) and aqueous-carbonic inclusions in quartz. Weakly gold-bearing metamorphic pyrrhotite-quartz veinlets were formed by oxidized ($\text{CO}_2 / \text{CH}_4 = 10\text{--}100$) nitrogen-carbon dioxide fluid at temperatures of 410–360 °C and a pressure of $2,4 \pm 0,2$ kbar. Gold-arsenopyrite mineralization was formed by deep-seated reduced ($\text{CO}_2 / \text{CH}_4 \sim 1$) methane-carbon dioxide-nitrogen fluid in the temperature range of 360–300 °C and pressure of $1,2 \pm 0,1$ kbar. Gold-antimonite mineralization was formed by nitrogen-methane fluid at temperatures 290–240 °C and pressure $0,8 \pm 0,1$ kbar. Gold transport was carried out in a boiling environment in carbonic phase.

Key words: Olimpiada deposit, fluid inclusions, temperature, pressure, composition of fluids.

Олимпиадинское золото-сульфидное месторождение – самый крупный золоторудный объект Енисейского кряжа и один из крупнейших в России ($\text{Au} > 1,5$ тыс. т, по [20]). Перспективы обнаружения аналогичных золоторудных месторождений как в пределах Енисейской провинции, так и в других районах нашей страны определяют необходимость анализа условий формирования

подобных уникальных скоплений рудного вещества. С момента открытия в 1975 году и вплоть до настоящего времени ведутся интенсивные исследования Олимпиадинского месторождения. В монографиях и многочисленных научных статьях подробно охарактеризованы минералого-геохимические особенности оруденения и геолого-структурные условия его локализации [7, 10, 20, 21 и др.].

Методами изотопной геохронологии определена последовательность развития рудообразующих процессов (табл. 1).

Тем не менее некоторые аспекты, касающиеся генезиса месторождения, всё ещё требуют дополнительного изучения. В первую очередь, к ним относятся параметры флюидного режима рудообразования, такие как состав и вероятные источники рудоносных растворов на каждой стадии минерализации, механизмы их движения, давление при рудообразовании.

Проблемы, возникающие при решении указанных вопросов, обусловлены двумя главными причинами. Первая связана с отсутствием жильного кварца в составе продуктивной минерализации, которая представлена рассеянной вкрапленностью золотоносного арсенопирита во вмещающих породах, а также прожилками и вкрапленностью антимонита-бертьерита. Соответственно, классический метод анализа первичных флюидных включений в жильном кварце разных стадий в данном случае неприменим, необходимую информацию

1. Последовательность геологических событий при формировании Олимпиадинского золоторудного месторождения

Геологическое событие	Датированные образования (метод определения)	Изотопный возраст, млн лет	Ссылки
Осадконакопление	Метапелиты (Sm-Nd), кластогенные цирконы (U-Pb)	1450	[20]
Региональный метаморфизм низких давлений	Биотит (Ar-Ar)	970–950	[8]
Кристаллизация коллизионных гранитоидов Тейского комплекса (в т.ч. Чиримбинского и Тырадинского массива)	Циркон (U-Pb)	890–860	[2, 19]
Зональный контактовый метаморфизм	Биотит (Ar-Ar)	860–850	[8]
Коллизионный метаморфизм умеренных давлений в связи с надвигами западного направления	Биотит (Ar-Ar)	850–830	[8]
Коллизионный метаморфизм умеренных давлений в связи с надвигами восточного направления	Биотит (Ar-Ar)	800–780	[8]
Кристаллизация мусковита в рудах Олимпиадинского месторождения	Мусковит (Ar-Ar, Rb-Sr)	810–780	[3, 10]
Кристаллизация мусковита в рудах золото-кварцевого месторождения Советское	Мусковит в ассоциации с самородным золотом (Ar-Ar)	820–780	[9]
Кристаллизация постколлизионных гранитоидов Аяхтинского комплекса	Циркон (U-Pb)	760–750	[2]
Внедрение даек субщелочных-щелочных основных пород	Циркон, сфен (U-Pb)	710–700	[11, 19]
Кристаллизация тонкоигольчатого высокозолотоносного арсенопирита (Олимпиадинское месторождение)	Арсенопирит (Re-Os)	689 ± 28	[19]
Формирование золото-сурьмяной (антимонит-бертьеритовой) минерализации	Мусковит (Ar-Ar)?	680–660	[3, 11, 19]
Внедрение даек щелочно-ультраосновных пород, карбонатитов, формирование щелочных метасоматитов	Биотит, порода (K-Ar), флогопит (Rb-Sr)	670–650	[11, 19]

можно получить только путём изучения различных генераций вторичных включений в дорудном кварце.

Вторая проблема обусловлена многокомпонентным составом газовой фазы рудообразующих флюидов. В результате исследования газовых включений в минералах Олимпиадинского месторождения методами криометрии или КР-спектроскопии (Раман-спектроскопии) установлено [3, 14], что они содержат смеси CO_2 , N_2 и CH_4 с очень широким диапазоном соотношений компонентов. При комнатной температуре включения находятся в гомогенном состоянии. Для определения их плотности (а следовательно, и давления при рудообразовании) необходимо привлечение метода криометрии, основанного на измерении температур фазовых переходов во включениях после их глубокого охлаждения и гетерогенизации. В рассматриваемом случае при низких температурах во включениях наблюдаются три фазы – твёрдая CO_2 , газообразный флюид $\text{CH}_4 + \text{N}_2$ и жидкий флюид $\text{CH}_4 + \text{N}_2$. Гетерогенные равновесия в многофазных многокомпонентных системах описываются фундаментальным правилом фаз, согласно которому C (число степеней свободы) = K (число компонентов) + 2 – Φ (число фаз). При наличии трёх фаз в трёхкомпонентной системе для её полного описания требуется независимое определение двух параметров (температуры гомогенизации и состава газовой смеси). Поэтому оценка плотности флюидных включений в кварце Олимпиадинского месторождения только методом криометрии принципиально невозможна, состав газов в каждом включении должен быть определен количественно методом КР-спектроскопии. В этом состоит основная причина большого разброса опубликованных для месторождения оценок давления (в целом от 0,3 до 3 кбар) при незакономерных его вариациях [3, 14, 20, 21].

Таким образом, решение обозначенной проблемы возможно только путём комплексного анализа включений методами криометрии и КР-спектроскопии, который может обеспечить точное определение плотности (молярного объёма) трёхкомпонентных газовых смесей. При этом следует отдельно подчеркнуть, что в связи с переменным составом флюида комплексному исследованию необходимо подвергать строго одно и то же включение. Данный подход и положен в основу нашей работы.

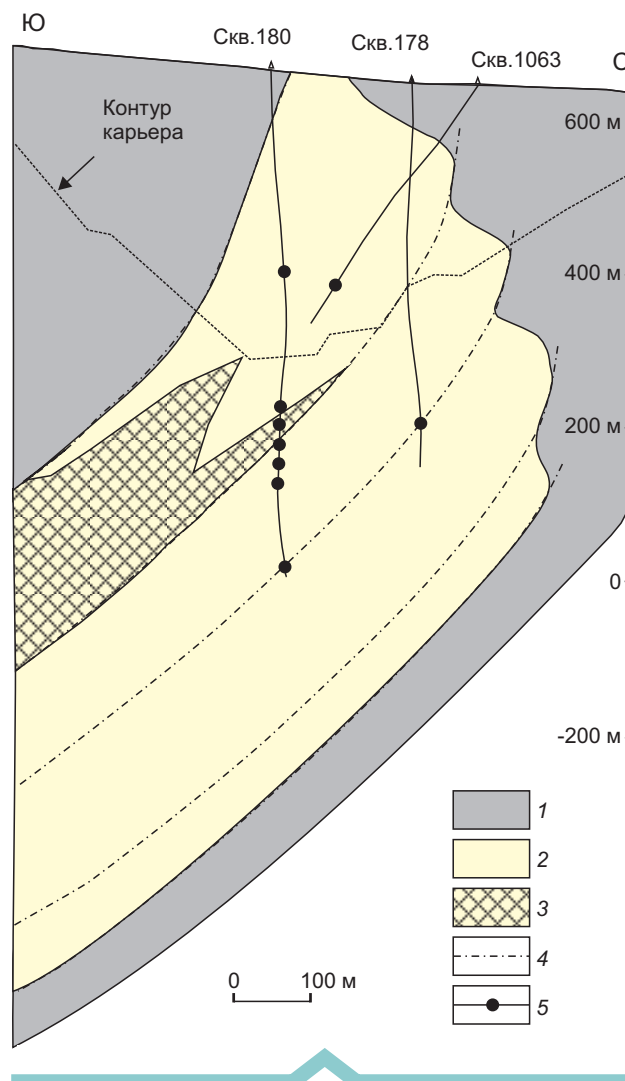


Рис. 1. Разрез Восточного участка Олимпиадинского месторождения. По [10, 20]:

1 – углеродистые кварц-сланцевые сланцы; 2 – рудное тело № 4: минерализованные слюисто-кварц-карбонатные и кварц-карбонатные породы; 3 – золото-сурьмяные руды без арсенопирита; 4 – разрывные нарушения; 5 – точки отбора образцов

Каменный материал и методы исследования. Для изучения флюидных включений использованы 10 образцов руд Олимпиадинского месторождения из эталонной коллекции, хранящейся в ЦНИГРИ. Девять из них характеризуют оруденение Восточного участка (скважины 180, 178 и 1063), в пределах которого сосредоточены 90% запасов месторождения (рис. 1). Оруденение Западного участка представлено одним образцом (скв. 622/127).

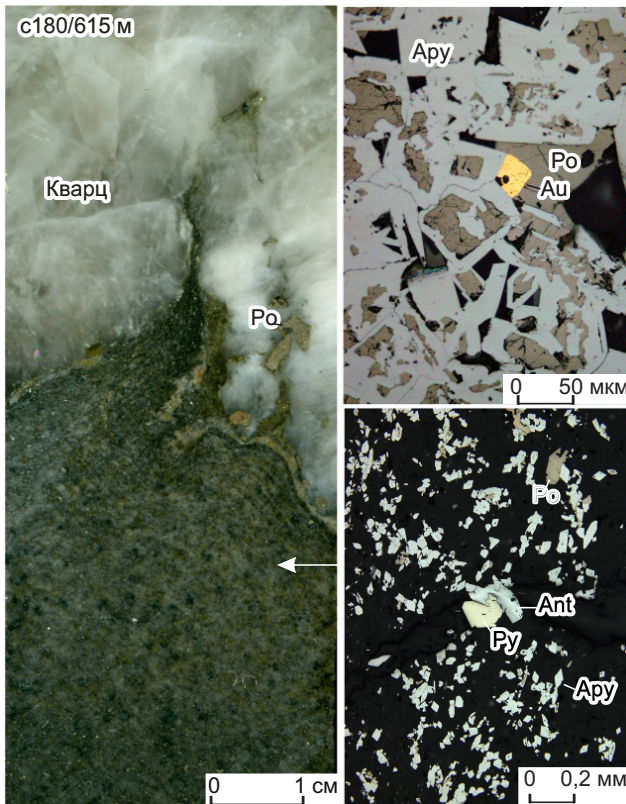


Рис. 2. Золото-сульфидная минерализация в рудах Олимпиадинского месторождения:

образец № с180/615; минералы: Ару – арсенопирит, Ро – пирротин, Апт – антимонит, Ру – пирит, Ау – самородное золото

Изученные образцы руд (рис. 2) типичны для месторождения и преимущественно представляют собой слюдисто-кварц-карбонатные метапороды, содержащие пирротин-мусковит-кварцевые прожилки, тонкую сульфидную вкрапленность (арсенопирит, пирротин, спорадически пирит и антимонит), прожилки антимонита. Наблюдаемые в образцах взаимоотношения рудных минералов (замещение пирротина золотоносным арсенопиритом, который в свою очередь замещается антимонитом) полностью соответствуют существующим представлениям о последовательности минералообразования на Олимпиадинском месторождении [7, 10, 20, 21].

Микротермометрические анализы индивидуальных включений проводились в прозрачно-полированных пластинках с использованием криотермокамеры УМТК+ конструкции ЦНИГРИ, позволяющей выполнять охлаждение и нагревание

препаратов от -180 до $+600$ °С с измерением температур фазовых переходов во включениях посредством хромель-алюмелевой термопары с точностью $\pm 0,2$ °С. Камеру калибровали при температурах тройной точки чистой CO_2 ($-56,6$ °С), температурах плавления льда в стандартных растворах NaCl (от -18 до -1 °С), температурах плавления AgNO_3 (210 °С) и K_2CrO_7 (398 °С).

Все измерения проводились в ходе нагревания препарата. Регистрировались температуры следующих фазовых переходов.

1. Температура гомогенизации азот-метановой смеси, которая происходит преимущественно в жидкую или окологритическую фазу (путём исчезновения мениска после уменьшения размеров газового пузырька).

2. Температура плавления CO_2 , которая для чистой углекислоты составляет $-56,6$ °С. В изученных образцах CO_2 плавилась при более низкой температуре, что обусловлено присутствием метана и азота.

3. Температура гомогенизации флюида $\text{CO}_2 + \text{N}_2 + \text{CH}_4$, которая преимущественно происходила в жидкую фазу.

4. Температура полной гомогенизации газожидких включений, которая во всех случаях происходила в жидкую фазу путём исчезновения газового пузырька, то есть растворения газов в воде.

В каждой из присутствующих в образце ассоциаций сингенетичных включений были проанализированы по 5–10 индивидуальных вакуолей, полученные данные усреднялись. Затем составы газов в тех же вакуолях были количественно определены методом КР-спектроскопии. Полученные данные также усреднялись.

КР-спектры записывали на автоматическом КР-спектрометре XPlORA (Horiba Scientific), совмещенном с конфокальным микроскопом. Работа выполнена в Микрорамановской лаборатории МГУ им. М. В. Ломоносова на кафедре петрологии геологического факультета. В качестве источника света использовался лазер 532 нм (зелёный). Детектор – матричный ПЗС, охлаждаемый Пельтье элементом до -50 °С. Пространственное разрешение конфокального микроскопа – $0,5$ мкм. Итоговый результат, выдаваемый прибором, представлял собой КР-спектр, усреднённый по результатам двух измерений. Время получения одного спектра составляло 40 секунд. Обработка спектров (вычитание фона и расчёт площадей пиков) осуществлялась в программе DIFWIN1.

Для калибровки КР-спектрометра в качестве стандартов использованы природные включения в кварце из руд Олимпиадинского месторождения, содержащие практически чистые двухкомпонентные системы, параметры которых могут быть определены по температурам гомогенизации с использованием соответствующих диаграмм. По результатам анализа таких включений определены калибровочные коэффициенты, обеспечивающие удовлетворительную сходимость данных криометрии и КР-спектроскопии [1].

Мольный объём V (см³/моль) трёхкомпонентных включений рассчитывали по формуле [18]: $V = 1 / (v\text{CO}_2 / 28,2 + (1 - v\text{CO}_2) / V_{\text{CH}_4+\text{N}_2})$, где $v\text{CO}_2$ – объёмная доля твёрдой CO_2 (мольный объём

28,2 см³/моль) в момент гомогенизации фазы $\text{CH}_4 + \text{N}_2$, рассчитанная с учётом мольной доли CO_2 во включении (по данным КР-спектроскопии), $V_{\text{CH}_4+\text{N}_2}$ – мольный объём фазы $\text{CH}_4 + \text{N}_2$, определенный по температуре и типу её гомогенизации с учётом отношения CH_4 / N_2 (по данным КР-спектроскопии) при использовании диаграммы состояния системы $\text{CH}_4\text{-N}_2$.

Результаты исследований. Включения, обнаруженные в изученных образцах жильного кварца, разделяются на два генетических типа [15]:

- первичные, которые встречаются поодиночке либо образуют объёмные изолированные кластеры, расположенные в объёме минерала вне связи с трещинами. Данные включения характеризуют

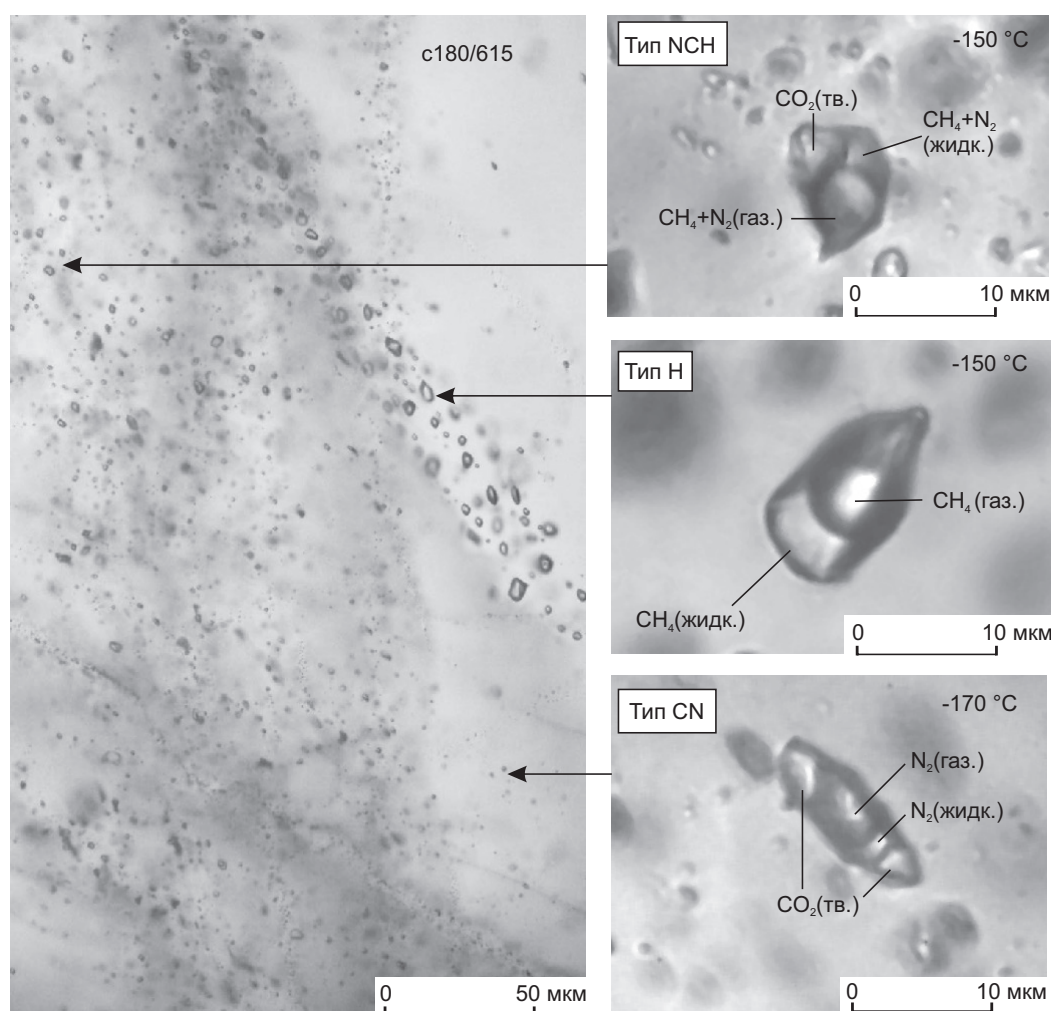


Рис. 3. Три генерации флюидных включений в кварце:

CN – первичные азотно-углекислотные, NCH – вторичные метан-углекислотно-азотные, H – вторичные метановые (с примесью азота); образец c180/615

условия формирования пирротин-мусковит-кварцевых прожилков;

- вторичные, залечивающие протяженные трещины, пересекающие края зёрен минерала и связанные с более поздними по отношению жильному кварцу минералообразующими процессами. Как показали исследования, существуют как минимум две генерации вторичных включений, которые часто находятся в одном образце и приурочены к разным системам пересекающихся трещин (рис. 3).

Результаты комплексных исследований первичных и вторичных включений приведены в табл. 2 и в графической форме представлены на рис. 4.

Установлено, что включения выделенных генераций значительно различаются по составу газовой фазы и криометрическим характеристикам.

Первичные включения имеют следующий состав (мольн. %): CH_4 – 0,8–5,0, N_2 – 21,3–59,0, CO_2 – 38,5–77,9. По преобладающим компонентам данный тип включений обозначен как «CN». При охлаждении в них вымораживается твёрдая углекислота, которая занимает 22,5–42,5 % объёма вакуолей. Азот-метановая смесь во включениях данного типа гомогенизировалась в жидкую, газовую или критическую фазу при температурах ($T_{\text{гом}} \text{CH}_4+\text{N}_2$) от -150 до -147 °С. Температуры плавления углекислоты ($T_{\text{пл}} \text{CO}_2$) составили

2. Результаты комплексных термобарогеохимических исследований индивидуальных флюидных включений в жильном кварце Олимпиадинского месторождения

Номер образца	Тип (группа включений)	Состав по данным КР-спектроскопии, мольн. %			Температуры фазовых переходов, °С			V, см ³ /моль	T _{гом} ГЖВ, °С
		CH ₄	N ₂	CO ₂	T _{гом} CH ₄ +N ₂	T _{пл} CO ₂	T _{гом} C		
c178/420	NCH(1)	16,2	48,7	35,1	-126,6 ж	-70,1	–	65	310–320
	NCH(2)	28,0	57,9	14,1	-125,0 ж	-73,3	–	64	
	H	94,9	1,9	3,2	–	-94,5	-79,5	79	260–290
c180/215	H	94,5	4,8	0,7	-86,0 ж	–	–	80	240–250
c180/395	CN(1)	3,2	53,2	43,6	-149,0 ж	-61,3	-52,0	49	360–390
	CN(2)	1,1	42,4	56,6	-147,5 ж	-61,0	-45,5	49	
c180/412	H	87,8	8,4	3,8	–	-91,5	-86,3	78	255–265
c180/440	NCH	12,8	60,1	27,1	-132,4 ж	-69,0	–	66	320–350
c180/460	NCH	21,9	49,8	28,4	-124,2 ж	-69,8	–	65	340–360
c180/480	H	95,4	3,4	1,2	-84,5 ж	–	–	80	250–270
c180/615	CN	2,5	59,0	38,5	-150 ж	-61,2	-55,3	49	–
	NCH	25,6	46,1	28,3	-119,2 ж	-65,5	–	65	345–355
	H	94,9	4,6	0,5	-85,5 ж	–	–	80	240–260
c1063/250	NCH	25,6	28,6	45,8	-112,5 г	-64,5	-33,5к	64	300–340
c622/127	CN(1)	5,0	31,5	63,5	-147 к	-62,5	-31,5	51	370–410
	CN(2)	2,4	28,1	69,5	-147,5 г	-60,0	-23,3	49	
	CN(3)	0,8	21,3	77,9	-148 г	-59,2	-11,5	51	–
	NCH	34,0	36,7	29,2	-110,0 ж	-63,0	–	65	–
	H	99,0	0,5	0,5	-84,5 ж	–	–	80	235–245

Примечание. Типы газовых включений: CN – первичные азотно-углекислотные, NCH – вторичные метан-углекислотно-азотные, H – вторичные метановые. Измеренные температуры фазовых переходов: $T_{\text{гом}} \text{CH}_4+\text{N}_2$ – гомогенизации азотно-метановой смеси в жидкую (ж), газовую (г) или критическую (к) фазу; $T_{\text{пл}} \text{CO}_2$ – плавления углекислоты, $T_{\text{гом}} \text{C}$ – гомогенизации флюида $\text{CO}_2 + \text{N}_2 + \text{CH}_4$ в жидкую фазу (к – в критическую фазу). V – мольный объём флюида, рассчитанный по данным криометрии и КР – спектроскопии по методике [18]. $T_{\text{гом}} \text{ГЖВ}$ – температуры гомогенизации газовой-жидких включений, ассоциирующих с газовыми (путём растворения газов в воде). В каждой строке представлены усреднённые данные анализа 5–10 индивидуальных вакуолей, принадлежащих к одной группе сингенетических включений.

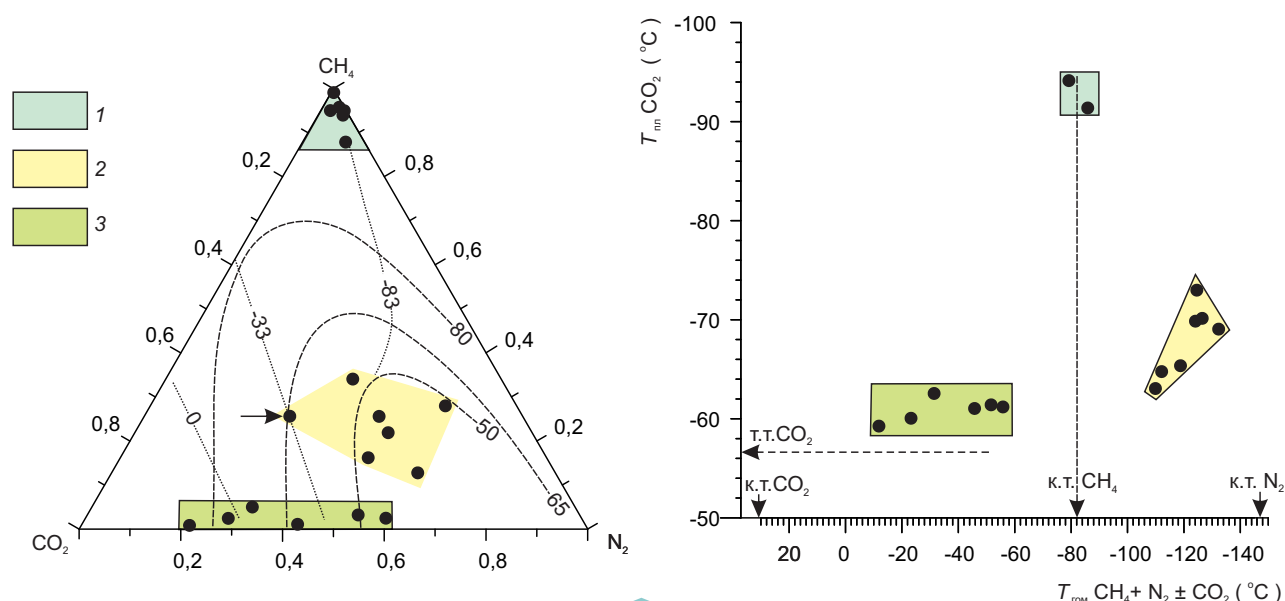


Рис. 4. Состав и криометрические характеристики газовых включений в кварце Олимпиадинского месторождения:

А – данные КР-спектроскопии, пунктирные линии – изохоры, точечные линии – изотермы критических переходов в системе $\text{N}_2 + \text{CH}_4 + \text{CO}_2$ [16]; Б – данные криометрии; к.т. – критическая точка, т.т. – тройная точка, стрелкой показана фигуративная точка, соответствующая образцу с1063/250; тип включений: 1 – Н, 2 – NCH, 3 – CN

-62,5...-59,5 °С. После плавления CO_2 флюид $\text{CO}_2 + \text{N}_2 + \text{CH}_4$ гомогенизировался в жидкую фазу при температурах ($T_{\text{гом}}$, °С) -55,3...-11,5 °С. Мольный объём флюида, рассчитанный для первичных включений на основе полученных данных, составляет 49–51 см³/моль.

Вторичные включения, залечивающие позднюю систему прямолинейных трещин, заполнены преимущественно плотным метаном с небольшой примесью азота и углекислоты (мольн. %: CH_4 – 87,8–99,0, N_2 – 0,5–8,4, CO_2 – 0,5–3,8) и обозначены как тип «Н». Флюид во включениях данного типа гомогенизировался в жидкую фазу (но вблизи критической точки) при температурах ($T_{\text{гом}} \text{ CH}_4 + \text{N}_2 \pm \text{CO}_2$) -86,3...-79,5 °С. Твёрдая углекислота наблюдалась редко и только в наиболее крупных вакуолях в виде небольшого (не более 1–1,5 об. %) кристаллика. Температуры её плавления ($T_{\text{пл}} \text{ CO}_2$) составили -94,5...-85,0 °С. Мольный объём флюида, заключённого во включениях данной генерации, составляет 78–80 см³/моль.

В образце с180/412 включения типа «Н» залечивают трещины вместе с выделениями антимонита (рис. 5). Это даёт основание утверждать, что полученные по ним термобарогеохимические

данные характеризуют условия формирования позднего продуктивного золото-сурьмяного (бертьерит-антимонитового) минерального комплекса.

Вторичные включения, залечивающие более раннюю систему трещин, в сопоставимых долях содержат все три газовых компонента (мольн. %): CH_4 – 12,8–34,0, N_2 – 28,6–60,1, CO_2 – 14,1–45,8. Такие метан-углекислотно-азотные включения обозначены как тип «NCH». При охлаждении в них вымораживается твёрдая углекислота, которая занимает в вакуолях от 6 до 20 об. %. Азот-метановая смесь во включениях данного типа гомогенизировалась преимущественно в жидкую фазу при температурах ($T_{\text{гом}} \text{ CH}_4 + \text{N}_2$) -132,4...-110,0 °С. Температуры плавления углекислоты ($T_{\text{пл}} \text{ CO}_2$) составили -73,3...-63,0 °С. В одной группе включений (обр. с1063/250) после гомогенизации азот-метановой смеси в газовую фазу при -112 °С и плавления углекислоты при -64,5 °С образовался жидкий флюид $\text{CO}_2 + \text{N}_2 + \text{CH}_4$, который гомогенизировался путём исчезновения мениска в критическую фазу при -33,5 °С. Измеренная температура точно соответствует критической для флюида данного состава и плотности (см. рис. 4),

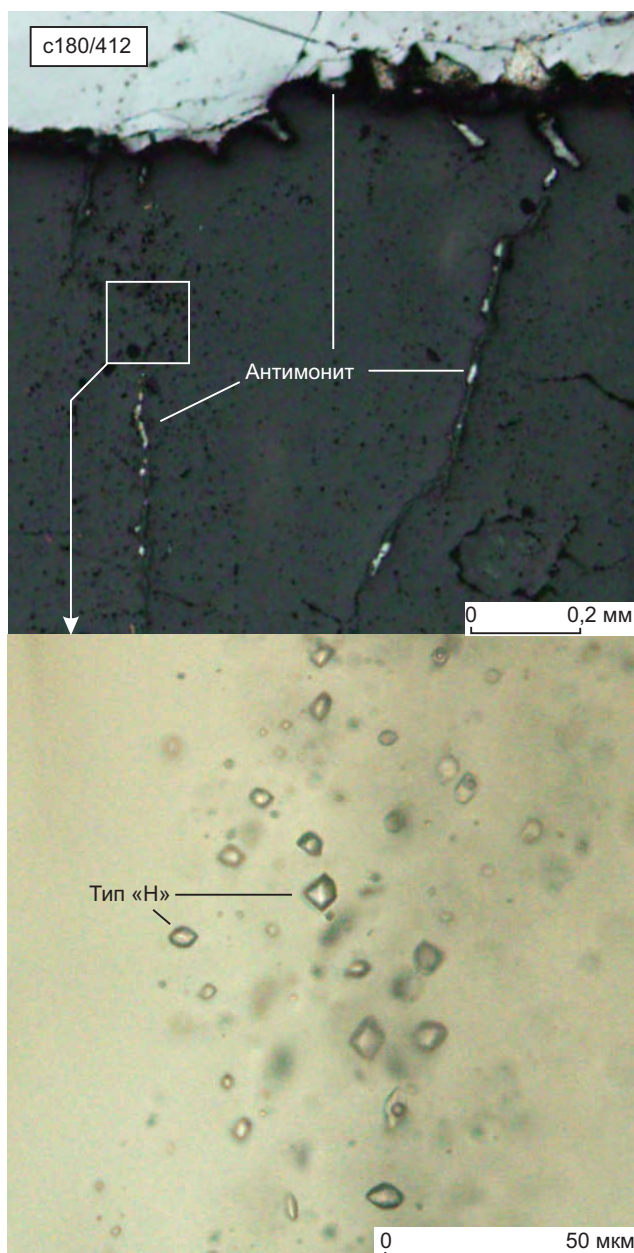


Рис. 5. Флюидные включения в кварце (тип Н), сингенетичные с антимонитом. Фото полированной пластины в отражённом и проходящем свете

что служит дополнительным свидетельством правильности калибровки КР-спектрометра и определения параметров включений, содержащих трёхкомпонентные газовые смеси.

Мольный объём, рассчитанный для вторичных включений типа «NCH», составляет 64–66 см³/моль. Поскольку данная генерация вторичных включений залечивает более раннюю систе-

му трещин, чем включения типа «Н» (см. рис. 3), её вполне обоснованно можно связать со стадией рудообразования, предшествующей отложению антимонит-бертьеритовой минерализации, а именно с формированием вкрапленности золотоносного арсенопирита в породах, вмещающих кварцевые прожилки. Такой вывод согласуется с закономерным присутствием включений аналогичного состава только в зонах развития золото-арсенопиритовой минерализации [3, 14].

Давление при рудообразовании. Как свидетельствуют полученные результаты, при значительных вариациях состава и криометрических показателей газовые включения каждой генерации имеют достаточно строго определённую плотность (мольный объём) и, следовательно, были захвачены при близких *PT*-условиях. Для оценки давления необходимо определить наклон изохоры, характеризующей флюид соответствующего состава и плотности, что было выполнено с использованием программного пакета FLUIDS [17].

Температуру захвата газовых включений можно определить по температурам гомогенизации сингенетичных газожидких включений (см. табл. 2), которые закономерно присутствуют в каждой ассоциации (рис. 6). Для первичных включений типа «CN» эти температуры составляют 410–360 °С, для вторичных типа «NCH» – 360–300 °С, для вторичных типа «Н» – 290–240 °С.

Диапазоны давления, соответствующие отрезкам изохор в указанных температурных интервалах, показаны на рис. 7. Для первичных азотно-углекислотных включений (тип «CN») получены значения 2,6–2,2 кбар (мольный объём 49–51 см³/моль, температуры захвата 410–360 °С). Давления, оценённые по вторичным метан-углекислотно-азотным включениям (тип «NCH»), составили 1,4–1,1 кбар (мольный объём 64–66 см³/моль, температура 360–300 °С), по вторичным метановым включениям (тип «Н») – 0,9–0,7 кбар (мольный объём 78–80 см³/моль, температуры 290–240 °С). Следует отметить, что полученные *PT*-характеристики точно соответствуют условиям минералообразования, так как получены по ассоциациям газожидких и газовых включений, захваченных из гетерогенной минералообразующей среды [15].

Таким образом, результаты исследований свидетельствуют о том, что формирование Олимпиадинского месторождения протекало дискретно в гетерогенной среде при участии углекислотно-

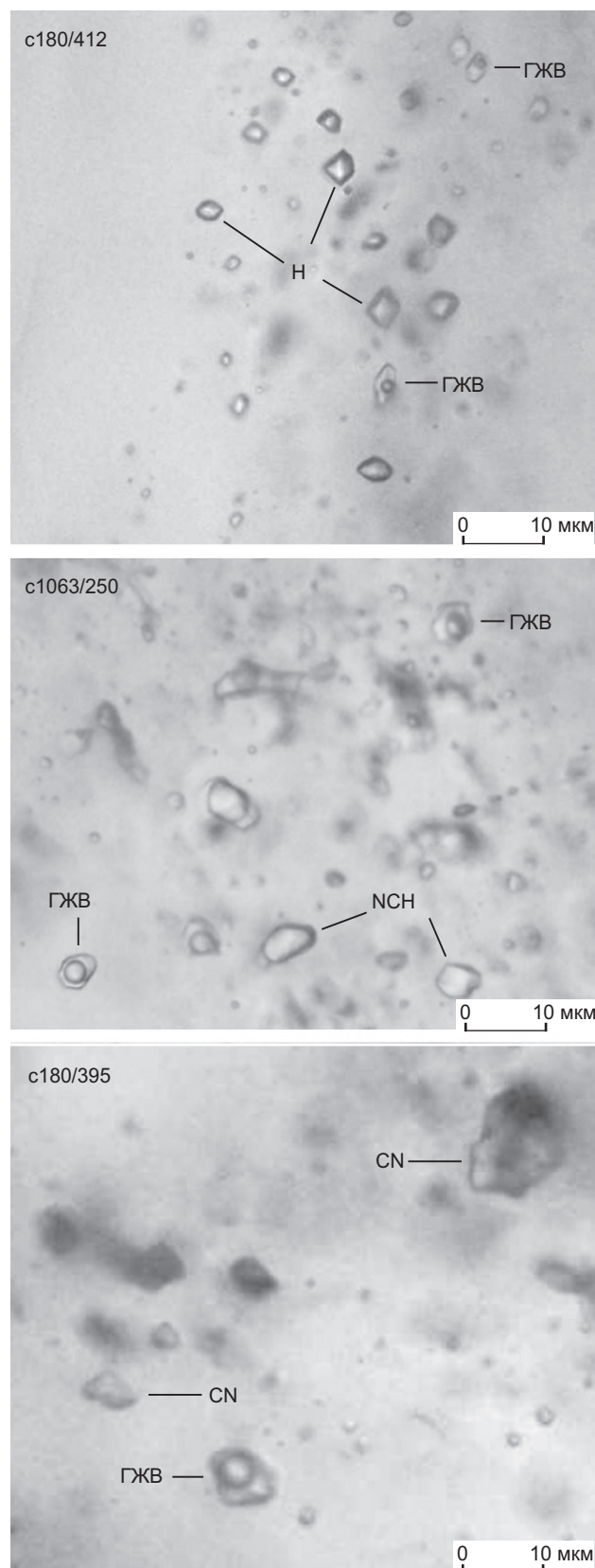


Рис. 6. Ассоциации сингенетических газовых (типы CN, NCH, Н) и газожидких (ГЖВ) включений

азотно-метановых флюидов переменного состава на фоне снижения температуры от 410 до 240 °С и скачкообразных изменений давления от 2,4 до 1,2 и далее до 0,8 кбар. В условиях литостатического градиента указанные давления соответствуют глубинам от ~10 до 5–3 км от палеоповерхности.

Обсуждение результатов. В результате исследований установлено, что совмещённые в рудах Олимпиадинского месторождения различные по продуктивности минеральные комплексы были сформированы на разных глубинах при участии флюидов разного состава. Это даёт основание предполагать, что золото поступало в область рудоотложения неоднократно из нескольких источников. Для определения вероятных источников рудного вещества следует рассмотреть существующие геохронологические и изотопно-геохимические данные.

Время образования пирротин-мусковит-кварцевых прожилков с учётом Ar-Ar и Rb-Sr датировок мусковита можно ограничить интервалом 810–780 млн лет (см. табл. 1). При этом необходимо отметить, что нижний предел температур захвата первичных включений в кварце (360 °С) отвечает условиям закрытия K-Ar системы слюд [8].

На Енисейском кряже магматические породы близкого возраста не известны. Согласно существующим представлениям [8], указанный период времени отвечает окончанию коллизионного метаморфизма, связанного с формированием надвигов в Татарско-Ишимбинской системе разломов. В это же время были образованы многочисленные золотоносные кварцевые жилы, которые имеют весьма сложное строение и несут явные признаки метаморфогенного происхождения [9, 11, 13]. В работе [13] убедительно показано, что основным источником рудного вещества золото-кварцевых месторождений на Енисейском кряже могли служить вмещающие углеродисто-терригенные толщи, обогащённые золотом на этапе осадконакопления.

Пирротин-мусковит-кварцевые прожилки, распространённые в рудах Олимпиадинского месторождения, по морфологии также могут быть отнесены к метаморфогенным образованиям (см. рис. 2). Пирротин обогащён тяжёлым изотопом ³⁴S [5, 20] и характеризуется широким диапазоном значений $\delta^{34}\text{S}$ от +6 до +20‰, что указывает на гидротермально-осадочную природу серы [4] и свидетельствует в пользу метаморфогенного

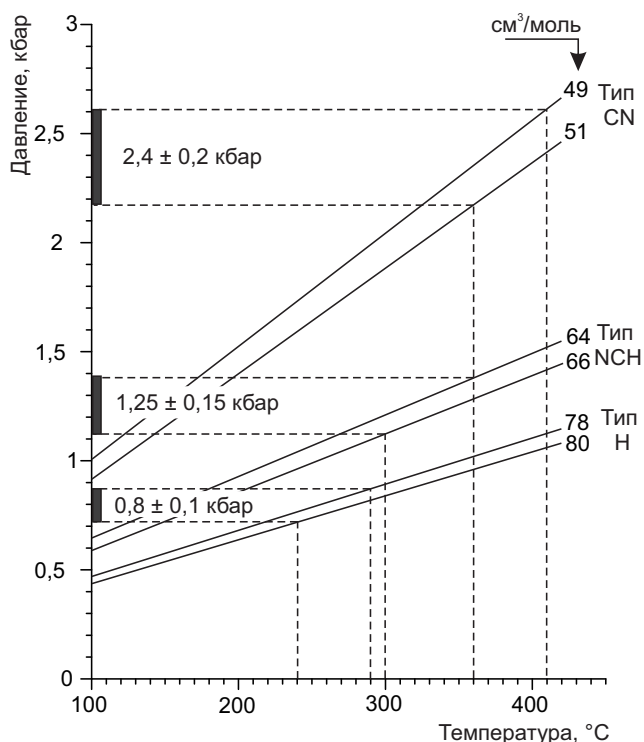


Рис. 7. Оценка давления при захвате флюидных включений в кварце Олимпиадинского месторождения

происхождения пирротин-кварцевой минерализации.

В монофракциях пирротина концентрации золота в среднем составляют 9 г/т (при вариациях от 0,3 до 70 г/т, 118 определений [10]). Среднее содержание пирротина в рудах оценивается в 1,5–3% [10]. Следовательно, с метаморфогенной минерализацией могут быть связаны не более 5% от общего количества Au в рудах месторождения (что, однако, составляет 50–100 тонн металла).

Таким образом, изученные первичные включения в кварце, содержащие окисленные азотно-углекислотные флюиды ($\text{CO}_2 / \text{CH}_4 = 10\text{--}100$), характеризуют метаморфогенно-гидротермальный этап рудообразования, в течение которого на глубинах около 10 км при температурах 410–360 °C в процессе тектонических движений была сформирована слабозолотоносная прожилково-вкрапленная минерализация.

Основной объем золото-сульфидного оруденения, преимущественно представленного вкрапленностью высокозолотоносного арсенопирита (Au в среднем 100–300 г/т, по [10, 21]) и сурьмя-

ными минералами в парагенезисе с самородным золотом, был сформирован восстановленными флюидами ($\text{CO}_2 / \text{CH}_4$ от ~1 до 0,01) при более низких температурах (360–240 °C) в обстановке существенно меньших глубин. Значительное снижение давления (от 2,4 до 1,2–0,8 кбар), предшествующее формированию золото-мышьяково-сурьмяных руд, вероятнее всего связано с воздыманием территории, денудацией и уменьшением глубин развития минералообразующих процессов с ~10 до ~5–3 км от палеоповерхности.

Данная оценка хорошо согласуется с существующими геодинамическими реконструкциями [8], согласно которым, в результате надвигов 780 млн лет назад метаморфозы рудовмещающей кординской свиты оказались перекрыты метатерригенно-карбонатными толщами тейской серии мощностью 5–7 км. Амплитуда последующего за этим постколлизийного быстрого подъема и эрозии составила не менее чем 4–5 км.

Время формирования золото-сульфидного оруденения (690–660 млн лет) совпадает с возрастом рифтогенных интрузивных комплексов, представленных дайками субщелочных и щелочных пород основного и ультраосновного состава (см. табл. 1), что неоднократно отмечалось в литературе [11, 19 и др.]. На вероятную связь золото-сульфидного оруденения с глубинным магматизмом указывает изотопный состав осмия [19], а также серы в золотоносных сульфидах [4, 5, 20]. Основная масса арсенопирита и антимонита характеризуется узким диапазоном значений $\delta^{34}\text{S} = +4,5 \pm 1\%$. Данный факт указывает на единый магматический источник рудных компонентов, входящих в состав золото-сульфидной мышьяково-сурьмяной минерализации Олимпиадинского месторождения. Наиболее вероятно, что таким источником служил длительно эволюционирующий глубинный очаг мантийно-коровой природы.

Здесь следует отдельно подчеркнуть, что сделанный вывод относится исключительно к золоту и его элементам-спутникам (As, Sb, S). Основным источником углекислоты, азота и метана, вероятнее всего, служили углеродисто-терригенные толщи [12]. Имеющиеся определения изотопного состава суммарного углерода включений в кварце ($\delta^{13}\text{C} (\text{CH}_4 + \text{CO}_2) = -17 \pm 1\%$) этому выводу не противоречат [6]. Необходимо также отметить, что азот и метан в системе вода–порода ведут себя по-разному в зависимости от форм нахождения углерода и условий газогенерации,

что приводит к широким вариациям состава пространственных в природе азот-метановых гидротерм [12]. Возможно, этим и обусловлена изменчивость состава газов в рассматриваемых нами рудообразующих флюидных палеосистемах.

В аспекте обсуждаемых процессов возникает резонный вопрос: почему формирование крупнообъемного золото-сульфидного оруденения не отразилось на изотопных K-Ag и Rb-Sr системах слюд в минерализованных породах? Ответ на него заключён в рассмотренных ниже особенностях флюидного режима рудообразования [6].

На глубинах 3–5 км в условиях литостатического давления движение поровых растворов весьма затруднено. Гидродинамическая связь с поверхностью отсутствует, температурные градиенты весьма незначительны. Как следствие, водно-солевые флюиды находятся практически в неподвижном состоянии. В рассматриваемом случае это подтверждается данными по изотопному составу кислорода. Установлено, что золото-арсенопиритовые руды и безрудные мусковит-кварц-карбонатные породы характеризуются одинаковыми значениями $\delta^{18}\text{O}$ карбонатов ($+21 \pm 1\%$), что свидетельствует о низком отношении вода/порода в системе.

Как отмечалось всеми исследователями флюидных включений, при формировании руд Олимпиадинского месторождения минералообразующая среда находилась в гетерогенном состоянии. Она была представлена водно-солевым раствором и относительно малоплотной газообразной углекислотно-азотно-метановой фазой. Известно, что в подобных системах происходит разделение химических элементов, причём в газообразную фазу преимущественно перераспределяются такие компоненты, как As, Sb, S и Au. На пузырьки газа в жидкости независимо от внешних условий постоянно действует архимедова сила, поэтому они неизбежно будут двигаться вверх с относительно высокой скоростью. Именно такой механизм мог обеспечить транспорт огромной массы рудного вещества на большие расстояния в условиях глубинного гидродинамического режима. Наблюдаемые широкие вариации составов газовых смесей в сингенетических включениях (см. табл. 2, рис. 3) также указывают на движение углекислотно-азотно-метанового флюида в виде отдельных пузырьков.

При перманентном гетерогенном состоянии среды между фазами устанавливается устойчивое

равновесие, что подразумевает и постоянство pH и Eh в системе раствор–порода. В этом, на наш взгляд, заключается главная причина отсутствия на Олимпиадинском месторождении сопровождающих арсенопиритовую минерализацию метасоматитов [7], а также арсенопирит-кварцевых прожилков [10, 14].

Вторая причина состоит в щелочном характере восстановленных водно-азотно-метановых флюидов [12]. Очевидно, именно поэтому карбонатные породы не являлись для рудоносных растворов геохимическим барьером и оказались минерализованными практически во всем объёме. Исключения составляют прослойки кварц-карбонатных пород и мраморов, сложенных кальцитом, а также прожилки кварца. Арсенопирит (в отличие от антимонита) в них не встречается. Данная закономерность позволяет в качестве одной из главных причин рудоотложения указать наличие в породах железосодержащих минералов (железистых карбонатов и пирротина). По нашему мнению, именно кварц-кальцитовый состав пород в верхней части рудного тела № 4 [20] обусловил локализацию в них золото-антимонитовых руд, не содержащих арсенопирит (см. рис. 1).

Таким образом, сохранность изотопных K-Ag и Rb-Sr систем слюд можно рассматривать как ещё одно доказательство газового транспорта рудного вещества восстановленными флюидами. Состав и плотность включений таких флюидов можно использовать при типизации золоторудных проявлений, определении последовательности рудообразования и прогнозе скрытого оруденения.

В заключение необходимо отметить приуроченность Олимпиадинского месторождения к весьма благоприятной для рудоотложения структуре – крупному телу трещиноватых существенно карбонатных пород, заключённому в чехол слабопроницаемых пластичных углеродисто-слюдистых сланцев (см. рис. 1). Эта своеобразная «ловушка» для газообразных рудоносных флюидов, по-видимому, и обеспечила условия для уникального скопления рудного вещества.

Выводы. В результате выполненных исследований существенно уточнены параметры флюидного режима формирования Олимпиадинского золото-сульфидного месторождения. На основе комплексного применения методов криометрии и КР-спектроскопии точно определено флюидное давление при образовании разновозрастных минеральных комплексов.

Формирование слабопродуктивного прожилково-вкрапленного пирротин-кварцевого комплекса проходило при участии окисленного ($\text{CO}_2 / \text{CH}_4 = 10\text{--}100$) азотно-углекислотного флюида при температурах 410–360 °С и давлении $2,4 \pm 0,2$ кбар. Основной продуктивный, вкрапленный золото-арсенопиритовый комплекс был сформирован восстановленным ($\text{CO}_2 / \text{CH}_4 \sim 1$) метан-углекислотно-азотным флюидом в интервале температур 360–300 °С при давлении $1,25 \pm 0,15$ кбар. Вкрапленно-прожилковая золото-сурьмяная (бертьерит-антимонитовая) минерализация образовалась при участии метанового флюида при температурах 290–240 °С и давлении $0,8 \pm 0,1$ кбар.

Значительное снижение давления (от 2,4 до 1,2–0,8 кбар) может быть связано с постколлизийным подъёмом территории, денудацией и уменьшением глубин развития минералообразующих процессов с ~10 км до 5–3 км от палеоповерхности.

Геохронологические и изотопно-геохимические данные свидетельствуют о формировании слабозолотоносных пирротин-кварцевых прожилков в период коллизийного метаморфизма 860–780 млн лет назад за счёт перераспределения вещества вмещающих пород, содержащих гидротермально-осадочные сульфиды. Золото-арсено-

пиритовая и бертьерит-антимонитовая минерализация образовалась в рифтогенной обстановке синхронно с дайками субщелочных-щелочных основных и ультраосновных пород в период ~690–660 млн лет. На вероятную связь золото-сульфидного оруденения с глубинным магматизмом указывает изотопный состав осмия и серы в арсенопирите и антимоните.

Полученные данные согласуются с представлениями о ведущей роли газового флюида как транспортирующего агента в рудообразующих системах, обеспечившего эффективную миграцию огромной массы золота и сопутствующих элементов на значительные расстояния в условиях глубинного гидродинамического режима.

Термобарогеохимические признаки золотоносных флюидов, сформировавших уникальный рудный объект, могут быть использованы в качестве критериев при прогнозировании, поисках и оценке золотого оруденения на Енисейском кряже.

Авторы благодарят доктора геолого-минералогических наук, профессора П. Ю. Плечова и старшего научного сотрудника, кандидата геолого-минералогических наук В. Д. Щербакова за помощь в проведении КР-спектроскопии флюидных включений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Берковский Е. М., Кряжев С. Г. Определение состава и плотности флюида в системе $\text{CO}_2\text{-CH}_4\text{-N}_2$ методами криометрии и КР-спектроскопии // XIX Всероссийская конференция по термобарогеохимии: тезисы докладов. – Новосибирск : ИПЦ НГУ, 2022. – С. 13–14.
2. Верниковский В. А., Метелкин Д. В., Верниковская А. Е. и др. Неопротерозойская тектоническая структура Енисейского кряжа и формирование западной окраины Сибирского кратона на основе новых геологических, палеомагнитных и геохронологических данных // Геология и геофизика. – 2016. – Т. 57, № 1. – С. 63–90.
3. Гибшер Н. А., Томиленко А. А., Сазонов А. М. и др. Олимпиадинское золоторудное месторождение (Енисейский кряж): температура, давление, состав рудообразующих флюидов, $\delta^{34}\text{S}$ сульфидов, $^3\text{He}/^4\text{He}$ флюидов, Ag-Ag возраст и продолжительность формирования // Геология и геофизика. – 2019. – Т. 60, № 9. – С. 1310–1329.
4. Кряжев С. Г. Генетические модели и критерии прогноза золоторудных месторождений в углеродистотерригенных комплексах: специальность 25.00.11 «Геология, поиски и разведка твёрдых полезных ископаемых, минерагения»: автореф. дисс. на соискание учёного степен. докт. геол.-мин. наук // Сергей Гаврилович Кряжев. – М. : ЦНИГРИ, 2017. – 52 с.
5. Кряжев С. Г., Гриненко В. А. Изотопный состав и источники серы золото-сульфидных месторождений Енисейского кряжа // XVIII Симпозиум по геохимии изотопов имени академика А. П. Виноградова: тезисы докладов. – М. : ГЕОХИ РАН, 2007. – С. 141–142.
6. Кряжев С. Г., Прасолов Э. М., Розинов М. И., Сергеев С. А. Изотопный состав благородных газов флюидных включений в кварце месторождений золота терригенных комплексов // XX симпозиум по геохимии изотопов: тезисы докладов. – М. : ГЕОХИ РАН, 2013. – С. 200–203.
7. Ли Л. В. Олимпиадинское месторождение вкрапленных золото-сульфидных руд. – Красноярск : КНИИГиМС, 2003. – 120 с.
8. Лиханов И. И., Ревердатто В. В., Козлов П. С. Коллизийные метаморфические комплексы Енисейского кряжа: особенности эволюции, возрастные рубежи и скорость эксгумации // Геология и геофизика. – 2011. – Т. 52, № 10. – С. 1593–1611.

9. *Неволько П. А., Борисенко А. С., Травин А. В.* Возраст Советского золоторудного месторождения (Енисейский кряж) // *Металлогения древних и современных океанов.* – 2008. – № 1. – С. 225–228.
10. *Новожилов Ю. И., Гаврилов А. М.* Золото-сульфидные месторождения в углеродисто-терригенных толщах. – М.: ЦНИГРИ, 1999. – 175 с.
11. *Ножкин А. Д., Борисенко А. С., Неволько П. А.* Этапы позднепротерозойского магматизма и возрастные рубежи золотого оруденения Енисейского кряжа // *Геология и геофизика.* – 2011. – Т. 52, № 1. – С. 158–181.
12. *Павлов С. Х., Чудненко К. В.* Исследование происхождения метановых и азотных термальных вод методом компьютерного моделирования // *Известия Иркутского государственного университета.* Серия: Науки о Земле. – 2013. – Т. 6, № 1. – С. 133–146.
13. *Петров В. Г.* Условия золотоносности северной части Енисейского кряжа. Новосибирск: Наука, 1974. – 138 с.
14. *Прокофьев В. Ю.* Геохимические особенности рудообразующих флюидов гидротермальных месторождений золота различных генетических типов: (по данным исследования флюидных включений). – Новосибирск: Наука, Сибирская издательская фирма РАН, 2000. – 192 с.
15. *Реддер Э.* Флюидные включения в минералах. В 2 Т. Т. 1. – М.: Мир, 1987. – 560 с.
16. *Свердлова В. Г., Шведенков Г. Ю., Томиленко А. А.* и др. Определение объемов фазового перехода газ-жидкость в системе CO₂-CH₄-N₂ в связи с задачами термобарогеохимии // *Геохимия.* – 1999. – № 5. – С. 494–505.
17. *Bakker R. J.* Package FLUIDS 1. Computer programs for analysis of fluid inclusions data and for modeling bulk fluid properties // *Chemical Geology.* – 2003. – V. 194. – P. 3–23.
18. *Kerkhof A. M.* The system CO₂-CH₄-N₂ in fluid inclusions: theoretical modelling and geological applications. PhD. – Amsterdam: Vrije Universiteit, 1988. – 206 p.
19. *Naumov E. A., Borisenko A. S., Nevolko P. A.* et al. Gold-sulfide (Au-As) deposits of the Yenisei Ridge (Russia): age, sources of metals and nature of fluids/Proceedings of 13th Biennial SGA Meeting, 24–27 August (Anne-Sylvie André-Mayer, Michel Cathelineau, Philippe Muchez, Eric Pirard and Sven Sindern, eds.) – V. 1. – 2015. – P. 165–168.
20. *Sazonov A. M., Lobanov K. V., Zvyagina E. A.* et al. Olympiada Gold Deposit, Yenisei Ridge, Russia // *SEG Special Publications.* – 2020. – № 23. – P. 203–226.
21. *Silyanov S. A., Sazonov A. M., Naumov E. A.* et al. Mineral Paragenesis, formation stages and trace elements in sulfides of the Olympiada gold deposit (Yenisei Ridge, Russia) // *Ore Geology Reviews.* – 2022. – V. 143. – P. 104750

REFERENCES

1. *Berkovskiy Ye. M., Kryazhev S. G.* Opredeleniye sostava i plotnosti flyuida v sisteme CO₂-CH₄-N₂ metodami kriometrii i KR-spektroskopii [Determination of the composition and density of the fluid in the CO₂-CH₄-N₂ system by cryometry and Raman spectroscopy]. XIX Vserossiyskaya konferentsiya po termobarogeokhimmii: tezisy dokladov, Novosibirsk, IPTS NGU, 2022, pp. 13–14. (In Russ.)
2. *Vernikovskiy V. A., Metelkin D. V., Vernikovskaya A. Ye.* et al. Neoproterozoyskaya tektonicheskaya struktura Yeniseyskogo kryazha i formirovaniye zapadnoy okrainy Sibirskogo kratona na osnove novykh geologicheskikh, paleomagnetnykh i geokhronologicheskikh dannykh [Neoproterozoic tectonic structure of the Yenisei Ridge and the formation of the western margin of the Siberian Craton based on new geological, paleomagnetic and geochronological data]. *Geologiya i geofizika*, 2016, V. 57, No. 1, pp. 63–90. (In Russ.)
3. *Gibsher N. A., Tomilenko A. A., Sazonov A. M.* et al. Olimpiadinskoye zolotorudnoye mestorozhdeniye (Yeniseiskii kryazh): temperatura, davleniye, sostav rudobrazuyushchikh flyuidov, δ³⁴S sul'fidov, ³He/⁴He flyuidov, Ar-Ar vozrast i prodolzhitel'nost' formirovaniya [Olimpiada gold deposit (Yenisei Ridge): temperature, pressure, composition of ore-forming fluids, δ³⁴S sulfides, ³He/⁴He fluids, Ar-Ar age and duration formation]. *Geologiya i geofizika*, 2019, V. 60, No. 9, pp. 1310–1329. (In Russ.)
4. *Kryazhev S. G.* Geneticheskiye modeli i kriterii prognoza zolotorudnykh mestorozhdeniy v uglerodistoterrigennykh kompleksakh [Genetic models and criteria for forecasting gold deposits in carbonaceous-terrigenous complexes]. Moscow, TSNIGRI publ., 2017, 52 p. (In Russ.)
5. *Kryazhev S. G., Grinenko V. A.* Izotopnyy sostav i istochniki sery zoloto-sul'fidnykh mestorozhdeniy Yeniseyskogo kryazha [Isotopic composition and sources of sulfur in gold-sulfide deposits of the Yenisei Ridge]. XVIII Simpozium po geokhimmii izotopov imeni akademika A. P. Vinogradova: tezisy dokladov, Moscow, GEOKHI RAN publ., 2007, pp. 141–142. (In Russ.)
6. *Kryazhev S. G., Prasolov E. M., Rozinov M. I., Sergeev S. A.* Izotopnyy sostav blagorodnykh gazov flyuidnykh vklyucheniye v kvartse mestorozhdeniy zolota terrigennykh kompleksov [Isotope composition of noble gases of fluid inclusions in quartz of gold

- deposits of terrigenous complexes]. XX simpozium po geokhimii izotopov: tezisy dokladov, Moscow, GEOKHI RAN publ., 2013, pp. 200–203. (In Russ.)
7. *Li L. V.* Olimpiadinskoye mestorozhdeniye vkraplennykh zoloto-sul'fidnykh rud [Olympiada deposit of disseminated gold-sulfide ores]. Krasnoyarsk, KNIIGiMS publ., 2003, 120 p. (In Russ.)
 8. *Likhanov I. I., Reverdatto V. V., Kozlov P. S.* Kollizionnyye metamorficheskiye komplekсы Yeniseyskogo kryazha: osobennosti evolyutsii, vozrastnyye rubezhi i skorost' eksyumatsii [Collisional metamorphic complexes of the Yenisei Ridge: features of evolution, age limits and exhumation rate]. *Geologiya i geofizika*, 2011, V. 52, No. 10, pp. 1593–1611. (In Russ.)
 9. *Nevol'ko P. A., Borisenko A. S., Travin A. V.* Vozrast Sovetskogo zolotorudnogo mestorozhdeniya (Yeniseyskiy kryazh) [Age of the Soviet gold deposit (Yenisei Ridge)]. *Metallogeniya drevnykh i sovremennykh okeanov*, 2008, No. 1, pp. 225–228. (In Russ.)
 10. *Novozhilov Yu. I., Gavrilov A. M.* Zoloto-sul'fidnyye mestorozhdeniya v uglerodisto-terrigenykh tolshchakh [Gold-sulfide deposits in carbonaceous-terrigenous strata]. Moscow, TSNIGRI publ., 1999, 175 p. (In Russ.)
 11. *Nozhkin A. D., Borisenko A. S., Nevol'ko P. A.* Etapy pozdneproterozoyskogo magmatizma i vozrastnyye rubezhi zolotogo orudneniya Yeniseyskogo kryazha [Stages of Late Proterozoic magmatism and age limits of gold mineralization in the Yenisei Ridge]. *Geologiya i geofizika*, 2011, V. 52, No. 1, pp. 158–181. (In Russ.)
 12. *Pavlov S. Kh., Chudnenko K. V.* Issledovaniye proiskhozhdeniya metanovykh i azotnykh termal'nykh vod metodom komp'yuternogo modelirovaniya [Study of the origin of methane and nitrogen thermal waters by computer simulation]. *Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Nauki o Zemle*, 2013, V. 6, No. 1, pp. 133–146. (In Russ.)
 13. *Petrov V. G.* Usloviya zolotonosnosti severnoy chasti Yeniseyskogo kryazha [Gold-bearing conditions in the northern part of the Yenisei Ridge]. Novosibirsk, Nauka publ., 1974, 138 p. (In Russ.)
 14. *Prokof'yev V. Yu.* Geokhimicheskiye osobennosti rudoobrazuyushchikh flyuidov gidrotermal'nykh mestorozhdenii zolota razlichnykh geneticheskikh tipov: (po dannym issledovaniya flyuidnykh vkluchenii) [Geochemical features of ore-forming fluids of hydrothermal gold deposits of various genetic types: (according to the study of fluid inclusions)], Novosibirsk, Nauka. Sibirskaya izdatel'skaya firma RAN publ., 2000, 192 p. (In Russ.)
 15. *Redder E.* Flyuidnyye vklucheniya v mineralakh [Fluid inclusions in minerals]. V. 1, Moscow, Mir publ., 1987, 560 p. (In Russ.)
 16. *Sverdlova V. G., Shvedenkov G. Yu., Tomilenko A. A.* et al. Opredeleniye ob'yemov fazovogo perekhoda gaz-zhidkost' v sisteme CO₂-CH₄-N₂ v svyazi s zadachami termobarogeokhimi [Determination of the volumes of the gas-liquid phase transition in the CO₂-CH₄-N₂ system in connection with problems of termobarogeochemistry]. *Geokhimiya*, 1999, No. 5, pp. 494–505. (In Russ.)
 17. *Bakker R. J.* Package FLUIDS 1. Computer programs for analysis of fluid inclusions data and for modeling bulk fluid properties. *Chemical Geology*, 2003, V. 194, pp. 3–23.
 18. *Kerkhof A. M.* The system CO₂-CH₄-N₂ in fluid inclusions: theoretical modelling and geological applications. PhD, Amsterdam, Vrije Universiteit, 1988, 206 p.
 19. *Naumov E. A., Borisenko A. S., Nevolko P. A.* et al. Gold-sulfide (Au-As) deposits of the Yenisei Ridge (Russia): age, sources of metals and nature of fluids. *Proceedings of 13th Biennial SGA Meeting*, 24–27 August (Anne-Sylvie André-Mayer, Michel Cathelineau, Philippe Muchez, Eric Pirard and Sven Sindern, eds.), V. 1, 2015, pp. 165–168.
 20. *Sazonov A. M., Lobanov K. V., Zvyagina E. A.* et al. Olympiada Gold Deposit, Yenisei Ridge, Russia. *SEG Special Publications*, 2020, No. 23, pp. 203–226.
 21. *Silyanov S. A., Sazonov A. M., Naumov E. A.* et al. Mineral Paragenesis, formation stages and trace elements in sulfides of the Olympiada gold deposit (Yenisei Ridge, Russia). *Ore Geology Reviews*, 2022, V. 143, pp. 104750

Статья поступила в редакцию 27.02.23; одобрена после рецензирования 07.03.23; принята к публикации 09.03.23.
The article was submitted 27.02.23; approved after reviewing 07.03.23; accepted for publication 09.03.23.

Отражение особенностей вещественного состава золотоносной коры выветривания в минералогических ореолах и геохимических аномалиях на примере отдельных участков Еравненской перспективной площади (Республика Бурятия)

Рассмотрены вещественный состав и золотоносность линейно-площадных кор выветривания Еравненской перспективной площади (Республика Бурятия), которые расположены в пределах комплексных золотосодержащих рудопроявлений. Приведены данные по типоморфным признакам золота и формам его нахождения. Показано проявление золоторудной минерализации в делювиально-пролювиальных отложениях. Сопоставлены эффективность и достоверность различных геохимических методов применительно к ландшафтным условиям площади работ.

Ключевые слова: золотоносные коры выветривания, железо-скарновые залежи, золоторудная минерализация, геохимические аномалии, минералы-индикаторы, типоморфизм золота.

АГИБАЛОВ ОЛЕГ АНАТОЛЬЕВИЧ, ведущий научный сотрудник, agibalov@tsnigri.ru

ЗУБОВА ТАТЬЯНА ПЕТРОВНА, старший научный сотрудник, zubova@tsnigri.ru

ПОЗДНЯКОВА НАТАЛЬЯ НИКОЛАЕВНА, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник, natali-silver@bk.ru

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

Reflection of peculiarities of the gold-bearing weathering crust composition in mineralogical halos and geochemical anomalies on the example of some sites of the Eravnensk prospective area, Republic of Buryatia

O. A. AGIBALOV, T. P. ZUBOVA, N. N. POZDNYAKOVA

Central Research Institute of Geological Prospecting for Base and Precious Metals, Moscow

The composition and gold-bearing potential of linear-areal weathering crusts of the Eravnensk prospective area in the Republic of Buryatia, that are located within complex gold-bearing ore prospects, are considered. Data on the forms of gold occurrence and some of the gold features are provided. The character of gold ore mineralization in deluvium and proluvium is shown. The effectiveness and reliability of various geochemical methods are compared in relation to the landscape conditions of the work area.

Key words: gold-bearing weathering crusts, iron-skar deposits, gold mineralization, geochemical anomalies, indicator minerals, gold typomorphism.

Еравненская площадь расположена в одноимённом административном районе Республики Бурятия (рис. 1), находится в южной части Сосновского рудно-россыпного узла (РРУ). В её геологическом строении участвуют палеозойские осадочные и вулканогенно-осадочные породы олдындинской свиты нижнего кембрия (рис. 2). Часть территории занимают интрузивные образования Ви-

тимканского комплекса раннепалеозойского возраста, с внедрением которого связано формирование плутоногенно-гидротермальных железорудных объектов с промышленным содержанием меди и барита.

Рассматриваемая площадь расположена в пределах одноименной депрессии, где установлены проявления золота в коре выветривания Сосновское,



Рис. 1. Обзорная схема расположения Еравненской перспективной площади, Республика Бурятия

Белюты (Агибалов О. А. и др., 2015), золотосодержащее железорудное Укыр (Миронов А. А. и др., 2008). По породам разного состава развиты коры выветривания (КВ) мел-палеогенового возраста, в неогеновую эпоху претерпевшие частичный перемыв и переотложение. Красноцветные глины неогенового возраста сохранились в виде отдельных фрагментов.

Площадь характеризуется сглаженным рельефом, задернованностью и залесённостью склонов, заболоченностью долин, а иногда и водоразделов, повсеместным развитием островной мерзлоты, что обуславливает очень слабую обнажённость территории и вызывает определённые трудности при её геологическом изучении и в особенности при проведении геохимических поисков по вторичным ореолам рассеяния (ВОР).

В настоящей работе авторы проследили, как золоторудная минерализация разного типа, претерпевшая изменения в коре выветривания, отражается в минералогических ореолах и геохимических аномалиях в перекрывающих отложениях. Одной из задач, решаемой авторами, является определение эффективности и достоверности различных геохимических методов в условиях выровненного рельефа с повсеместным развитием коры выветривания на основе опытно-методических работ (ОМР). В ходе ОМР на участках площади выполнялась проходка опорных профилей с отбором шлиховых и литохимических проб из копушей

глубиной 0,6 м. По шлиховым пробам проводился сокращённый минералогический анализ с попутным выделением золота, по литохимическим и шлиховым – комплекс исследований: атомно-абсорбционный на Au, золото-химико-спектральный, ICP AES на 33 элемента, приближённо-количественный спектральный на 45 элементов, ММИ–М (подвижные ионы металлов). В качестве контрольного использовался пробирно-атомно-абсорбционный анализ на Au. В работе учитывались материалы предшественников (Сагалуев Д. Д. и др., 1972; Бадерин А. М. и др., 1984 ф; Плясова С. Л. и др., 1984; Миронов А. А. и др., 2008 ф).

Золотосодержащее железо-скарновое *рудопроявление Укыр* расположено в истоках руч. Урудол (см. рис. 2). Золотая минерализация, предположительно золото-кварц-сульфидного типа, наложена на железорудные, преимущественно магнетитовые тела, приуроченные к скарнам (Сёмкин Г. А. и др., 1964 ф; Бадерин А. М. и др., 1984 ф; Плясова С. Л. и др., 1983 ф) и сопровождающиеся развитием зон пиритизации. В составе железорудных тел преобладают зернистые агрегаты магнетита с единичными каплевидными включениями пирита, пирротина, примесью углистого вещества. Среди нерудных минералов преобладают карбонаты.

По золотосодержащим железорудным залежам развита зона окисления мощностью 2,0–11,0 м, которая в приповерхностных делювиальных и делювиально-пролювиальных отложениях приобретает оранжево-коричневые оттенки.

Зона окисления представлена чёрным, тёмно-коричневым разрыхлённым материалом с обломками бурого железняка и магнетитовой руды. Количество алевро-пелитовой фракции варьирует в пределах 10–40%, в среднем – 20%. Преобладает песчаная фракция как продукт тонкой дезинтеграции исходной железной руды. Основные рудные минералы – остаточный магнетит, гидроксиды железа, встречаются примесь окисленного пирита, знаки самородного золота и меди. Алевро-пелитовая фракция состоит из гётита. Выход тяжёлой фракции шлиховых проб большой. На отдельных участках зоны окисления можно наблюдать остаточные дезинтегрированные прожилки кварца разной мощности (0,5–5,0 см) с вкрапленностью точечных охр лимонита как внутри прожилков, так и вокруг них, предположительно по сульфидам.

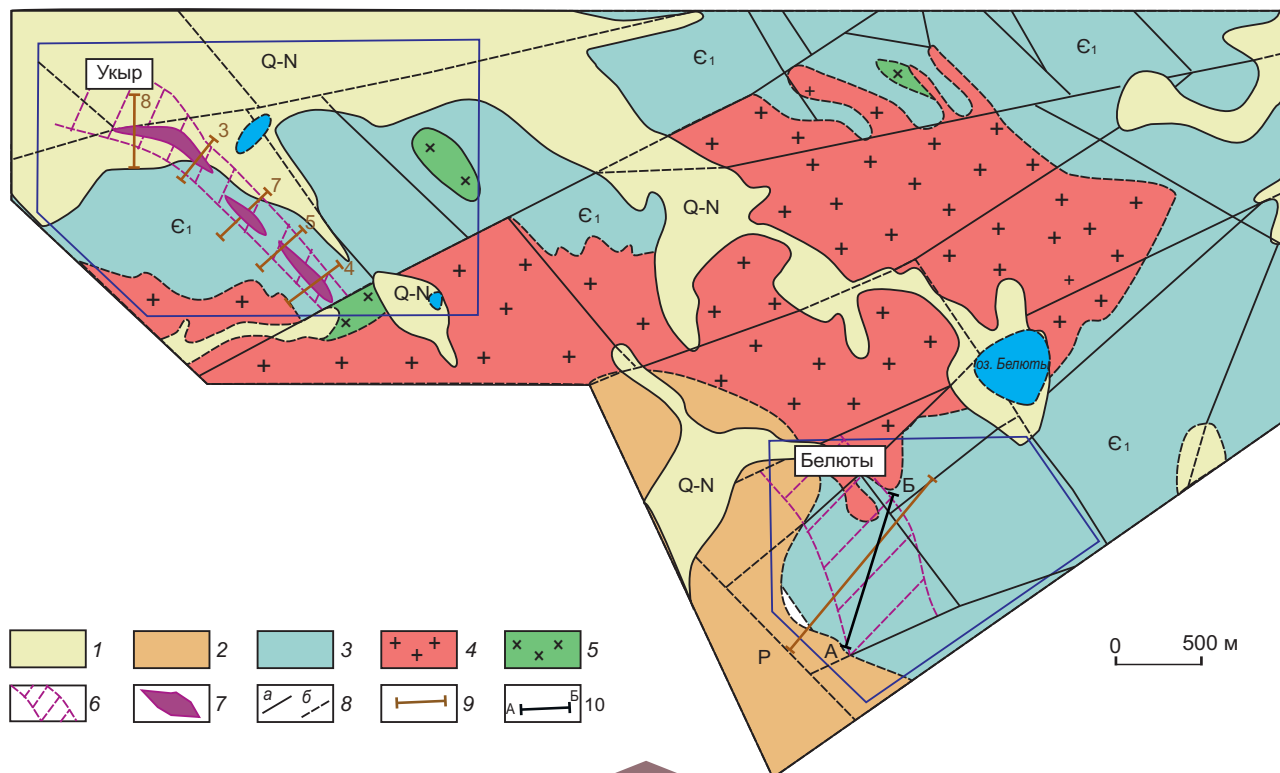


Рис. 2. Схема расположения участков Укыр, Бельюты и их геологическое строение. По Миронову А. А. и др., 2008 ф, с упрощениями:

1–2 – отложения: 1 – неоген-четвертичного возраста, Q–N (пески, галечники, глины), 2 – палеоцен-эоценового возраста, P (глины пёстроцветные с галькой и дресвой); 3 – вулканогенно-осадочные породы олдындинской свиты нижнего кембрия, ϵ_1 (известняки, туфы, сланцы); 4–5 – интрузивные породы Витимканского комплекса палеозойского возраста: 4 – порфиридные биотитовые граниты, 5 – биотитовые и роговообманковые диориты; 6 – минерализованные зоны с золотоносными корами выветривания; 7 – золотоносные железорудные тела; 8 – разрывные нарушения: а – установленные, б – предполагаемые; 9 – шlichогеохимические профили и их номер; 10 – фрагмент геологического разреза по линии АБ

Авторами были установлены повышенные содержания золота (0,5–14 г/т) в продуктах выветривания магнетитовых руд.

По результатам геохимического опробования по профилям, пройденным над окисленными железорудными телами рудопроявления Укыр (рис. 3), установлены повышенные содержания Au (до 0,4–0,5 г/т) и комплекс его элементов-спутников: Fe, Zn, Co, Ba, Ni, Cu, Pb, Mn. На участках интенсивной лимонитизации в шлиховых пробах резко увеличивается (до 85–100%) количество магнитной фракции, состоящей из округлых, овальных, бобовидных агрегатов, образованных в результате цементации угловатых зёрен магнетита гидроксидами железа и глинистыми охрами (рис. 4). Форма их не связана с окатыванием и переносом материала, а образовалась за счёт гипергенных

процессов. Кроме магнетита в пробах встречаются (на уровне 1% и менее) мелкий окисленный пирит размером 0,05 мм, гидроксиды железа, лимонитизированные обломки пород и кварца разной степени окатанности.

Содержания Au в монофракциях магнетита и гидроксидов Fe, определённые методом ICP MS, невысокие – десятые доли г/т, в единичных пробах – первые г/т, не зависят от морфологии минеральных агрегатов и близки к содержаниям Au в геохимических пробах (табл. 1). С учётом того, что пробы почти целиком состоят из этих минералов, следует признать их основными носителями Au.

Из шлиховых проб, отобранных в зоне окисления магнетитовых тел, извлечены мелкие золотины (рис. 5) преимущественно размером <0,1 мм,

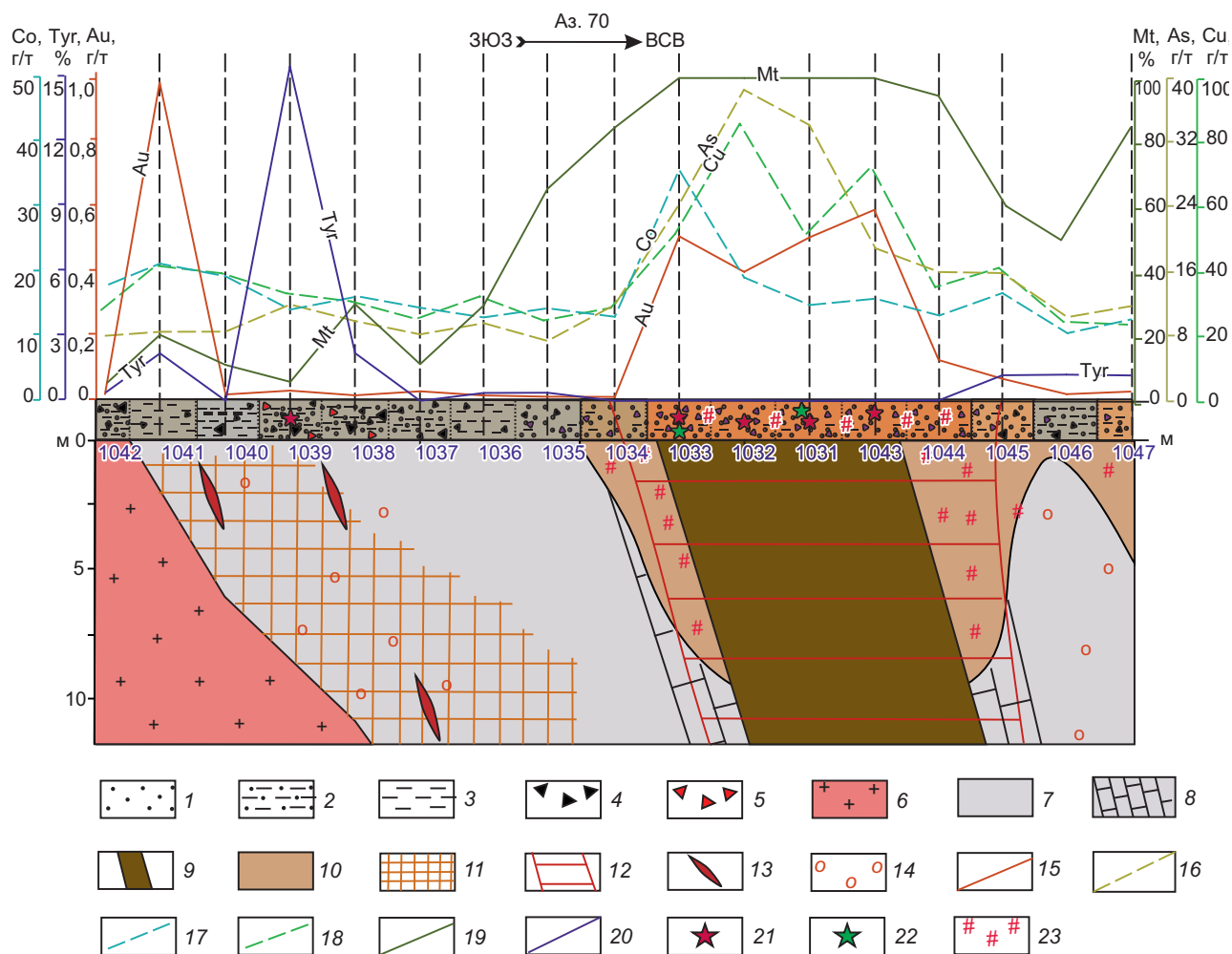


Рис. 3. Распределение золота и элементов-спутников в делювиально-пролювиальных отложениях по шлихогеохимическому профилю 4 над золотосодержащим железорудным телом. Схематический геологический разрез, составленный по документации керна скважин участка Укыр:

1 – песок; 2 – суглинок; 3 – глина; 4 – щебень; 5 – обломки кварца; 6 – граниты; 7 – вулканогенно-осадочные породы олдындинской свиты; 8 – прослои известняков; 9 – золотосодержащее железорудное тело; 10 – зона окисления; 11 – зона скарнирования; 12 – золотосодержащая минерализованная зона; 13 – кварцевые жилы; 14 – окварцевание; 15–18 – на графике содержания элементов, в г/т: 15 – Au (атомно-абсорбционный анализ), 16–18 – по ICP AES, в г/т: 16 – As, 17 – Co, 18 – Cu; 19–21 – содержание минералов в шлиховых пробах: 19 – магнетита (%), 20 – турмалина (%), 21 – знаки самородного золота; 22 – знаки самородной меди; 23 – участки интенсивного ожелезнения

реже 0,1–0,25 мм и знаки самородной меди. Основная часть золотин «рудного» облика представлена сростками объёмных искажённых кристаллов с ровной, со следами выщелачивания, поверхностью, отпечатками вмещающих минералов на ней, в углублениях со скоплениями гидроксидов железа. Характерная особенность золота – появление на его выступах наростов мельчайших

круглых кристаллов, которые можно отнести ко вторичному (гипергенному) золоту. По результатам анализов на сканирующем электронном микроскопе (SEM), пробность поверхности золотин колеблется в пределах 874–997‰ (с единичными значениями 783 и 882‰), отмечается постоянная примесь Cu (0,25–2,74 до 3,3 вес.%), спорадическая – Ag (0,32–10,57 до 20,74 вес.%).

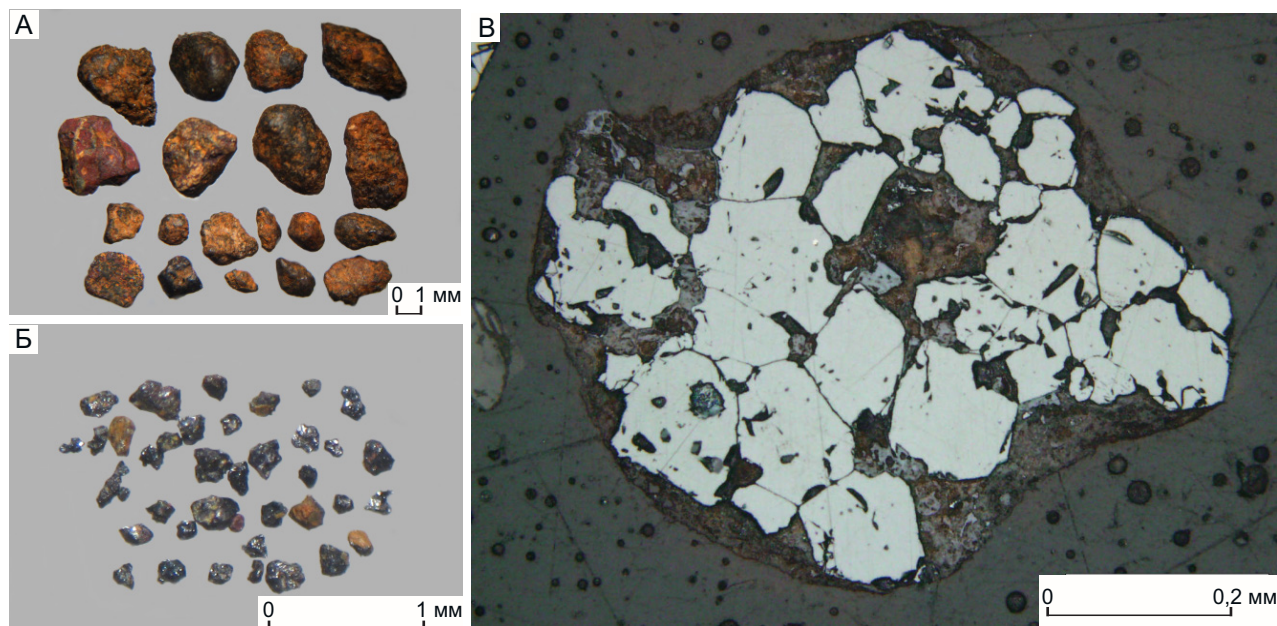


Рис. 4. Магнитные агрегаты из шлиховых проб с содержаниями золота >0,1 г/т:

А – округлые, оглаженные с лимонитизированным порошкообразным налётом (класс крупности +1 мм); Б – мелкие угловатые обломки (класс крупности +0,15 мм); В – неокатанный магнетит в корках гидроксидов железа, полированный монтированный шлиф. Участок Укыр, проба 1030

На поверхности почти всех изученных частиц золота присутствуют локальные глинистые плёнки с содержаниями Zn 0,5–7,7 мас.%. По периферии окисленных золотосодержащих железорудных тел в шлиховых пробах происходит уменьшение магнетита до 30–60%, в замет-

ных количествах (10–50%) появляются гидроксиды железа. Вероятно, это связано с присутствием в первичных рудах сульфидной минерализации, образующей оторочки вокруг железорудных тел, что находит отражение также и в литохимических аномалиях повышением содержаниями Cu, Pb,

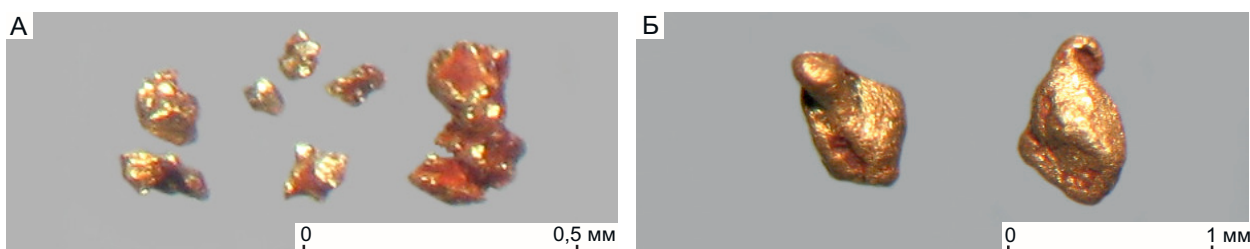


Рис. 5. Самородное золото из делювиально-пролювиальных отложений:

А – «рудного» облика в виде сростка кристаллов, гемидиоморфных и трещинно-прожилковидных частиц (класс крупности -0,25+0,1 мм), с мелкоямчатой, частично бугорчатой поверхностью, со скоплениями гидроксидов железа в углублениях; Б – сросток искажённых кристаллов с первично оглаженной, незначительно выщелоченной поверхностью, с примазками гидроксидов железа в единичных углублениях (вид с двух сторон, класс крупности -1 мм). Участок Укыр, проба 1043

1. Содержания золота в моноконцентрах, по результатам ICP MS из шлиховых проб железорудного месторождения Укыр

№ п/п	№ пробы	Содержание Au (г/т) в литохимической пробе	Характеристика материала (моноконцентра), отданного на ICP MS анализ	Содержание Au (г/т) в моноконцентрате
1	1030	0,017	Магнетит, мелкие угловатые зёрна	0,2
2	1030		Класс крупности ≤ 2 мм – округлые магнитные агрегаты с налётом охр лимонита	0,045
3	1031	0,55	Класс крупности 0,5–2 мм – магнитные обломки разной округлости, покрытые лимонитовой корочкой	1,829
4	1032	0,52	Класс крупности 0,5–1,0 мм – агрегаты, состоящие из угловатых зёрен магнетита	0,968
5	1033	0,64	Класс крупности > 1 мм – округлые магнитные агрегаты, с налётом охр лимонита	0,453
6	1033		Класс крупности $+1$ мм – угловатые агрегаты, состоящие из мелкозернистого магнетита в рубашке, примазках лимонитизированных глин	0,14
7	1043	0,66	Класс крупности $-0,25$ мм – мартитизированный остроугольный магнетит (50 %) и шарообразный с охрами лимонита (50 %)	0,543
8	1043		Класс крупности $+1$ мм – полуоглаженные и округлые агрегаты магнетита в рубашках лимонитовых охр	0,261
9	1079	0,12	Угловатые обломки магнетита, частично мартитизированные, с налётом охр лимонита	0,062
10	1079		Класс крупности -1 мм, электромагнитная фракция – остроугольные обломки гидроксидов Fe (гематит, гётит с металлическим блеском)	0,593

Примечание. Жирным шрифтом выделены повышенные содержания золота.

Zn, As. Проявление скарновой минерализации характеризуется присутствием (на уровне 5–30%) эпидота, граната, амфибола, мелких кристаллов турмалина (0,15–0,2 мм), примеси (<5%) окисленного пирита размером 0,05–0,15 мм преимущественно кубического габитуса, реже в форме усложнённых кубов. Количество гидроксидов железа по сравнению с окисленными рудами уменьшается до 10–15%. В отдельных пробах отмечается заметное количество обломков призматических кристаллов коричневого турмалина, размеры которых достигают 0,5–0,75 мм, также присутствует лимонитизированный кварц. В одной из проб с зёрнами турмалина содержания Au составили 1,6 г/т. Извлечённое золото мелкое (0,1–0,25 мм), имеет трещинно-прожилковую форму, часто находится в сростании с кварцем. Для него, как и для описанного выше, характер-

ны мельчайшие округлые наросты на выступах, ямчато-ячеистый рельеф поверхности со следами интенсивного выщелачивания и отпечатками контакта с вмещающими минералами.

Учитывая результаты выполненных исследований, можно предположить, что на участке Укыр возможно присутствие зон золотосодержащей железорудной и золото-кварцевой с турмалином минерализаций, расположенных как отдельно друг от друга, так и совмещённых в пространстве, которые отражаются в литохимических и шлиховых аномалиях в коре выветривания непосредственно над ними.

Участок Белюты находится в окрестностях одноимённого озера и расположен в пределах выровненной аккумулятивно-денудационной равнины, постепенно понижающейся к югу в направлении озёр Большая и Малая Иренга.

В геологическом строении территории (Плясова С.Л. и др., 1984 ф) участвуют породы ольдиндинской свиты, которые состоят из чередования известняков с туфосланцами, туфопесчаниками, туфоалевролитами, часто сульфидизированными, а также гранитоиды Витимканского комплекса (см. рис. 2).

В пределах участка широко развиты тектонические нарушения северо-восточного и северо-западного простираний. Вдоль них формируются зоны с остаточной линейно-трещинной корой выветривания – визуально это ожелезненный, перемешанный материал щебнисто-глинистого состава без сохранения структурно-текстурных

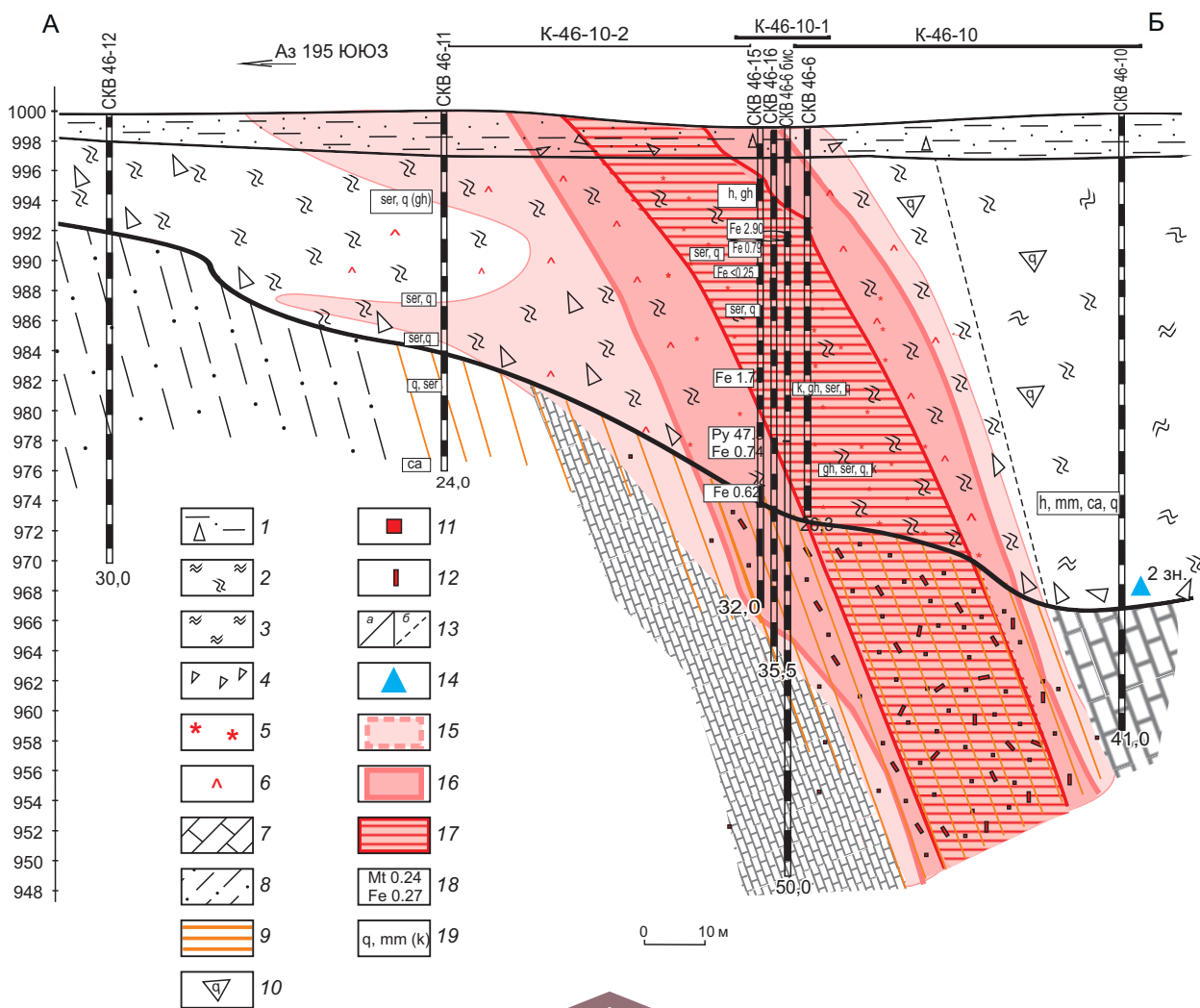


Рис. 6. Фрагмент геологического разреза по линии АБ (см. рис. 2) золотоносной коры выветривания. Участок Белюты:

1 – покровные песчано-глинистые отложения с дресвой пород; 2 – переотложенная, бесструктурная кора выветривания; 3 – остаточная структурная кора выветривания; 4 – щебень, дресва пород; 5 – зона интенсивного ожелезнения до образования бурых железняков; 6 – лимонитизация; 7 – известняки; 8 – алевролиты; 9 – кварц-серицитовые, кварц-серицит-полевошпатовые, серицит-хлорит-кварц-карбонатные метасоматиты; 10 – кварц; 11 – пирит; 12 – арсенипирит; 13 – геологические границы: а – установленные, б – предполагаемые; 14 – знаки самородного золота; ореолы Au, по данным химико-спектрального полуколичественного и пробирного анализов (г/т): 15 – 0,03–0,09, 16 – 0,10–0,59, 17 – >0,6; 18 – содержание золота в минералах (в г/т): Mt – магнетит, Py – пирит, Fe – оксиды железа; 19 – минеральный состав пелитовой фракции (в порядке убывания, в скобках – примеси): gh – гётит, ser – серицит, h – гидрослюда, q – кварц, mm – монтмориллонит, k – каолинит, са – кальцит

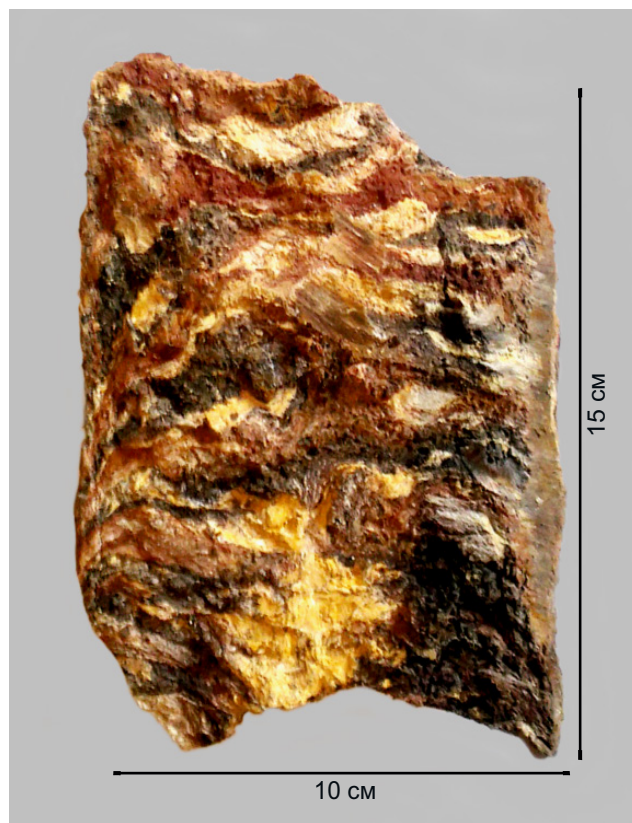


Рис. 7. Золотоносная кора выветривания с содержанием золота 2,88 г/т (по результатам пробирного анализа). Участок Белюты, скважина 46-б, интервал 16,5–18,0 м, проба 3049

особенностей коренных пород, что связано с формированием её по трещиноватым, дроблёным породам. Наибольшей мощности кора выветривания достигает в узлах пересечения тектонических нарушений – до 46,0–60,0 м.

ЗКВ сформировалась предположительно по зонам с прожилково-вкрапленной золотоносной сульфидной минерализацией пирит-арсенопиритового типа в серицитовых, кварц-серицитовых метасоматитах (рис. 6), что нашло отражение и в её составе [1]. Основным минералом алевро-пелитовой фракции является серицит, в меньшем количестве присутствует монтмориллонит, в отдельных пробах отмечается каолинит; сохраняются остаточные минералы – альбит, кварц, количество которых начинает доминировать в менее глинистых участках. В отличие от участка Укыр, на участке Белюты кора выветривания более мощная, с более глубокой глинизацией корен-

ных пород (рис. 7). Количество алевро-пелитовой фракции достигает 50%, в отдельных случаях – выше. По рудной минерализации в коре выветривания происходит интенсивное ожелезнение с образованием линз плотных сливных бурых железняков, в этих участках количество тонкого материала сокращается до 8–12%, в его составе начинает преобладать гётит.

По результатам горно-буровых работ (Агибалов О.А. и др., 2015 ф) в коре выветривания выявлены содержания Au до 3,6 г/т (среднее – 0,8 г/т на вертикальный интервал 20,0 м). В канавах ширина золотоносного интервала составила 16,0 м, при среднем содержании 1,5 г/т.

По результатам спектрального анализа керновых проб, отмечается пространственная корреляция Au с As, содержания которого достигают $100\text{--}800 \times 10^{-3}\%$. При этом не все повышенные содержания As (и ряда других рудогенных элементов – Ag, Cu, Zn, Pb) коррелируют с повышенными содержаниями Au. В одних случаях тонкодисперсное золото, заключённое в агрегатах бурых железняков с содержанием Au более 0,8 г/т, не сопровождается повышенными значениями As, Cu, Zn, Pb. В других – опробование керновых проб с мелкими знаками видимого золота в сростании с кварцем (при средних содержаниях Au 0,1–0,3 г/т) позволяет выделять ореолы средней контрастности (в $n \times 10^{-3}\%$): Pb – 50–80, Cu – 10–30 (единичные значения – 100–1000), Zn – 50–80, Ag – 0,5–1,5. Данное противоречие требует дальнейшего изучения.

В зоне окисления сульфидной минерализации основным концентратором золота являются гидроксиды железа (до 3,03 г/т, по данным ICP MS), содержания Au в них близки содержаниям Au в валовых пробах.

Вместе с Au в бурых железняках присутствуют высокие (1982–11 956 г/т) содержания As, остальные рудогенные элементы встречаются в незначительных количествах. В отдельных пробах также отмечаются повышенные содержания Bi, W, Zn, элементов редкоземельной группы, что может быть связано с их присутствием в первичных рудных минералах (табл. 2). В сохранившемся от окисления арсенопирит-пиритовом концентрате содержания Au выше, чем в гидроксидах железа из той же минерализованной зоны. Скорее всего, данный факт объясняется разложением не только золото-содержащих сульфидов, но и породообразующих минералов.

2. Результаты анализа монофракций гидроксидов железа и сульфидного концентрата по основным рудным элементам методом ICP MS

Элемент, г/т	Привязка*									
	<u>46-6</u> 6-7	<u>46-6</u> 7-9	<u>46-6</u> 9-10	<u>46-6</u> 16-18	<u>46-6</u> 21-22	<u>46-6</u> 24-25	<u>46-4</u> 10-12	<u>46-3</u> 12-13	<u>46-3</u> 12-13	<u>46-6</u> 19-21
	Гидроксиды железа								Остаточный сульфидный концентрат	
Au	2,9	3,03	<0,25	1,78	0,74	0,62	0,6	<0,25	58,0	47,3
As	2673	1354	1982	11956	3055	4200	3760	1000	9238	12 382
Cu	539	236	263	177	55,2	49,2	401	667	696	23,9
Zn	378	161	378	232	534	705	633	333	135	318
Ag	2,03	3,28	0,34	2,86	0,97	0,60	2,46	0,73	4,65	8,14
Pb	111	134	54,4	32,1	35,2	38,7	578	722	57,9	256
W	23,9	534	7,71	6,24	8,95	46,0	4,02	45,6	540	24,3
Bi	15 896	18,6	31,3	28,4	18,6	13,7	6,81	72,6	28,1	29,1
Rb	60,4	49,0	34,7	10,4	22,5	17,2	42,7	14,1	12,1	10,8
Nb	11,9	447,1	4,3	2,7	2,9	2,7	7,0	8,9	21,4	12,8
La	43,1	150	46,6	18,2	25,0	26,0	25,0	15,8	135	31,0
Ce	103	327	110	46,1	54,2	47,8	57,3	39,4	266	54,8
Hf	4,61	28,6	3,11	1,24	1,24	1,24	4,68	2,94	11,9	2,12
Sc	63,7	58,7	28,2	27,8	18,3	15,3	24,4	7,66	19,0	4,75

Примечание. *Числитель – номер скважины, знаменатель – интервал опробования.

Вышеизложенное подтверждается результатами испытания малой технологической пробы весом 174 кг (Агибалов О. А. и др., 2015 ф), где преобладает преимущественно тонкодисперсное золото (98,2%), связанное с гидроксидами железа колломорфного строения либо находящееся в виде включений в окисленном пирите (рис. 8). Гидроксиды железа формируются ритмически и нередко имеют концентрически-зональную, натёчную текстуру, что характерно при частой смене физико-химических условий осаждения. Характер зональности обусловлен их многократным переотложением. Наблюдаемое в них золото имеет округлые, удлинённо-сферические контуры, повторяя натёчно-глобулярную текстуру агрегатов. В случае, когда в гидроксидах железа отмечаются 1–3 зоны в виде широких полос, включения золота отсутствуют.

Видимое свободное золото гравитационных классов крупности, как и на участке Укыр, встречается в местах сохранившихся дезинтегрированных кварцевых прожилков мощностью 1–5 см.

Оно преимущественно тонкое (0,1 мм), с незначительным (до 1%) количеством частиц крупностью -0,25+0,1 мм. По форме золотины представлены пластинчатыми несовершенными кристаллами, их сростками, в меньшей степени – удлинёнными трещинно-прожилковидными разностями. Характер поверхности свободного мелкого золота первично выровненный, с признаками слабых преобразований в гипергенных условиях. Пробность поверхности золотин (по данным SEM) колеблется в пределах 869–994‰ (с единичными значениями 798 и 824‰), отмечаются постоянная примесь Cu (0,46–1,9 вес.%), спорадическая – Ag (3,89–15,82 до 18,69 вес.%). В гидроксидах железа, заполняющих углубления на золоте, отмечается (по данным SEM) примесь S (2–3 мас.%), что свидетельствует о срастании золота с сульфидами, окисленными в коре выветривания.

На дневной поверхности проявление рудной минерализации картируется появлением свалов сливных, натёчных бурых лимонитов, а также гравелитов с железистым цементом.

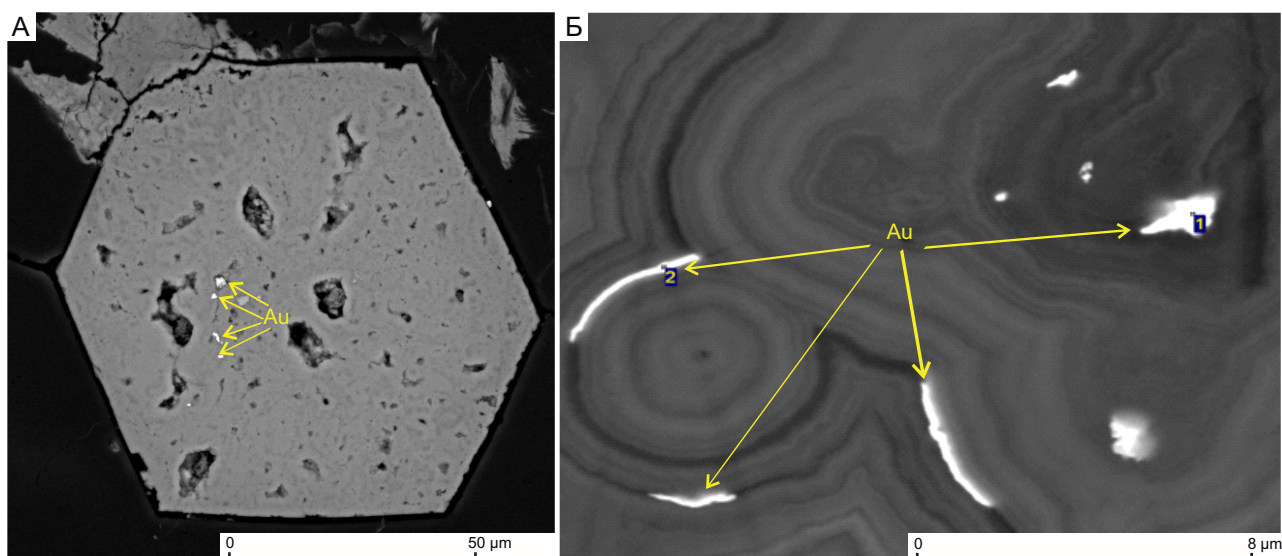


Рис. 8. Тонкодисперсное золото в остаточном пирите в виде тонких включений (А), в гидроксидах железа коллоидного строения в виде эмульсионных включений (Б). Участок Белюты

По результатам анализа литохимических проб, отобранных по опорному профилю, содержания Au фиксируются на участках интенсивного ожелезнения обломочного материала (рис. 9). Повышенные содержания Au пространственно коррелируют с As, Cu, Co, Fe, Mn, P, Pb, Ni, Mo, Bi. Набор элементов близок тому, что характерен для золотосодержащих гидроксидов железа в коре выветривания (см. табл. 2).

В результате выполненных исследований на участке Белюты выделяются две группы аномалий Au. Одна имеет корреляцию с As, другая при наличии знаков видимого золота, часто в сростании с кварцем сопровождается ореолами средней контрастности As, Pb, Cu, Zn, Ag. Это связано с проявлением золото-кварцевой и золото-сульфидной минерализаций в пределах одной рудной структуры.

Сравнение аналитических методов при геохимическом опробовании золотоносной коры выветривания отдельных участков Еравненской площади показало:

- содержания золота и рудогенных элементов в сером шликсе шликсгеохимических проб являются более высокими по сравнению с аналогичными содержаниями в литохимических пробах;
- при определении содержаний элементов-спутников (As, Cu, Ni и др.) золота наилучшую чувствительность показал метод ICP AES по сравне-

нию с приближённо-количественным спектральным анализом. Следует отметить, что кривые распределения элементов-спутников, полученные по результатам этих анализов, практически совпадают;

- эффективность применения метода ММИ–М оказалась ниже результатов традиционных методов анализов. При этом отмечается небольшая пространственная разобщённость повышенных содержаний Au и его элементов-спутников, определённых методом ММИ–М с результатами других видов анализов. К особенностям метода ММИ–М можно отнести слабую выраженность золотосодержащей железорудной зоны по содержаниям Fe, а также несовпадение повышенных значений Au и Fe (в отличие от метода ICP AES), что, возможно, объясняется особенностями миграции и накопления ионов Au и Fe. К недостаткам рассматриваемого анализа относится также низкая чувствительность по As и ряду других элементов-спутников, существенно уступающая в этом отношении методу ICP AES.

Подводя итоги, можно сказать:

1. В коре выветривания, по имеющимся на данный момент материалам, характер распределения золота и его элементов-спутников унаследован от минерализованных зон в коренных породах, что объясняется преобладанием остаточных линейно-трещинных кор выветривания

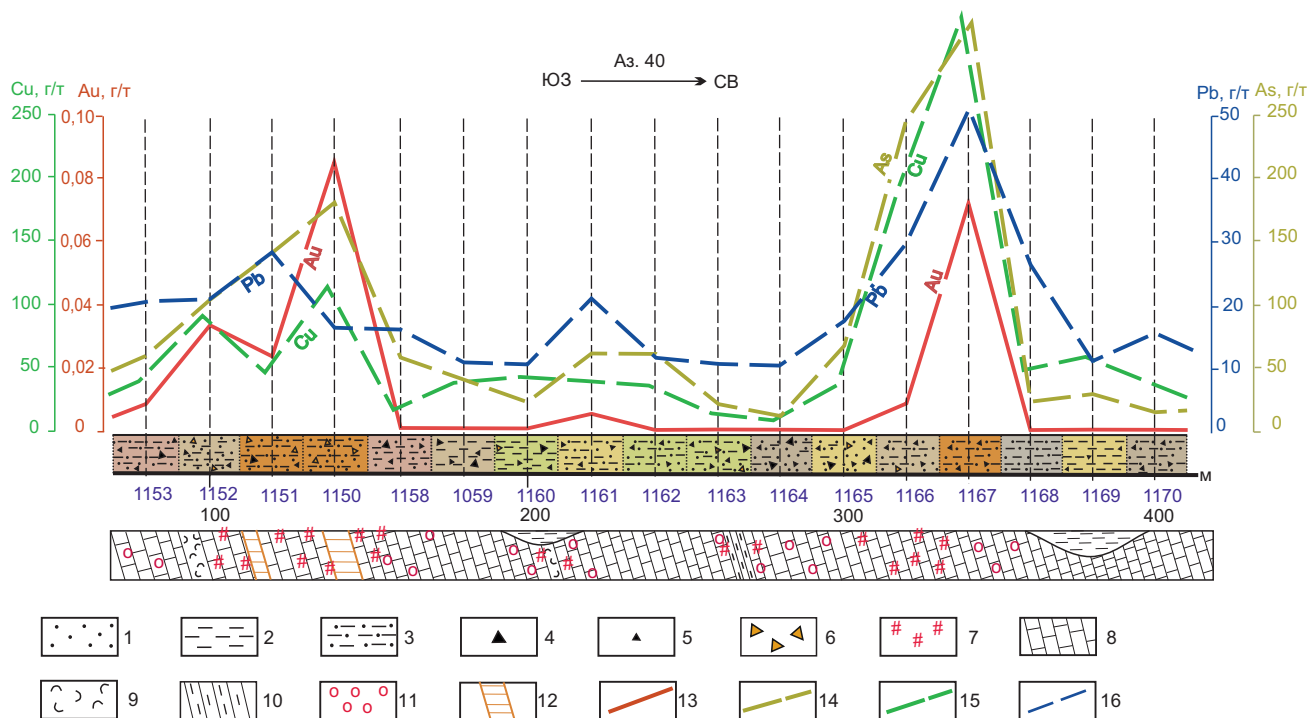


Рис. 9. Распределение золота и его элементов-спутников в шлихогеохимическом профиле. Участок Белюты:

1 – песок; 2 – глина; 3 – суглинок; 4 – щебень; 5 – дресва; 6 – ожелезнённые обломки пород; 7 – гнезда лимонитизации; 8–10 – коренные породы: 8 – известняки, 9 – туфы смешанного состава, 10 – сланцы; 11 – окварцевание; 12 – серицитизация; 13–16 – на графике содержания элементов, в г/т: 13 – Au (золото-химико-спектральный анализ), 14–16 (ICP AES): 14 – As, 15 – Cu, 16 – Pb

при несущественном влиянии карстовых процессов. ЗКВ преимущественно формируется по силикатной составляющей среди известняков. Существенное переотложение золота или обогащение им каких-либо горизонтов не отмечаются.

2. Минералогические и геохимические особенности рудной минерализации проявляются в приповерхностных горизонтах (делювиальных, делювиально-пролювиальных отложениях).

Присутствие *золотосодержащей железорудной минерализации* отражается в преобладании в шлиховых пробах магнетита, видимого мелкого золота в форме кристаллов и их сростков; в литохимических аномалиях кроме Au отмечаются повышенные содержания Fe, Zn, Co, Ba, Ni, Cu, Pb, Mn.

Золото-сульфидная минерализация отражается в появлении на поверхности вывалов, обломков гидроксидов железа и контрастными геохимическими аномалиями Au, As, Cu, Pb, Zn, Mn, P, Co, Fe Ni, Mo, Bi, в отдельных случаях Ce, La, Y.

Для *золото-кварцевой минерализации* характерно присутствие самородного золота разной крупности трещинно-прожилковых форм, обогреленного выщелоченного кварца, обломков крупно-среднезернистых кристаллов турмалина. Содержания Au в литохимических пробах не всегда корректно могут быть установлены химическими методами анализов в связи с возможным попаданием в навеску относительно крупных и неравномерно распределённых частиц золота.

3. Полученные вторичные геохимические аномалии Au и его элементов-спутников показали, что они располагаются практически над минерализованными зонами. Это вызвано выровненностью рельефа, характерного для лесостепных ландшафтов Бурятии. Отсутствие рассеяния элементов в условиях слабо расчленённой поверхности может привести к пропуску маломощных золотоносных зон. Влияние на качество полученных результатов оказывает и повышенная мощность гумусового горизонта. На отдельных

разрезах его мощность достигает 1,0–1,2 м. В связи с этим необходим контроль отбора геохимических проб, их нужно проводить с глубины, отвечающей инструкции по проведению литохимических работ по ВОР, которая в ряде случаев может достигать 1 м. Всё это требует дополнительного обоснования выбора шага и глубины опробования при геохимических поисках в условиях рассматриваемого ландшафта.

В заключение хотелось бы отметить определённую недоизученность, которая, по мнению авторов, присуща целому ряду золотосодержащих объектов (железородных, полиметаллических). Они при наличии благоприятных экономических и геологических условий могут стать дополнительным источником восполнения минерально-сырьевой базы благородных металлов. В частности, давно известные мелкие железородные (Укыр) и полиметаллические (Сосновское, Юбилейное) объекты Еравненской площади не представляют интереса для добычи собственно Fe, Cu, Zn, Pb, однако наличие в их пределах зон окисления и ЗКВ (что позволяет использовать кучное выщелачивание для извлечения Au) и хорошая транспортная доступность (шоссейная дорога и ЛЭП расположены в 300 м от проявления Укыр) могут сделать их инвестиционно привлекательными.

Такого рода слабо-, а иногда и совсем неизученные объекты заслуживают, на взгляд авторов, более пристального внимания, потенциал их во многом ещё не раскрыт, достаточно вспомнить, например, что только в скарново-магнетитовых месторождениях Кузнецкого Алатау и Горной Шории общие прогнозные ресурсы золота составляют около 400 т, что сопоставимо с количеством учтённого металла, добытого из золотородных и россыпных месторождений региона [2].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агибалов О. А., Зубова Т. П. и др. Перспективы золотоносности коры выветривания Еравнинской депрессии (Республика Бурятия) // Научно-методические основы прогноза, поисков, оценки месторождений алмазов, благородных и цветных металлов: сборник тезисов докладов Международной научно-практической конференции. – М.: ФГБУ «ЦНИГРИ», 2016. – С. 114
2. Платонов А. Н., Санин В. Н. Золотоносность скарново-магнетитовых месторождений Алтае-Саянской складчатой области // Руды и металлы. – 1998. – № 2. – С. 57–66

REFERENCES

1. Agibalov O. A., Zubova T. P. et al. Perspektivy zolotonosnosti kory vyvetrivaniya Yeravninskoy depressii (Respublika Buryatiya) [Prospects for the gold content of the weathering crust of the Eravna Depression (Republic of Buryatia)]. Nauchno-metodicheskiye osnovy prognoza, poiskov, otsenki mestorozhdeniy almazov, blagorodnykh i tsvetnykh metallov: sbornik tezisov dokladov Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Moscow, FGBU TSNIGRI publ., 2016, pp. 114. (In Russ.)
2. Platonov A. N., Sanin V. N. Zolotonosnost' skarnovo-magnetitovykh mestorozhdeniy Altaye-Sayanskoy skladchatoy oblasti [Gold content of skarn-magnetite deposits of the Altai-Sayan folded region]. Rudy i metally, 1998, No. 2, pp. 57–66. (In Russ.)

О геохимических особенностях разновозрастных образований алмазоперспективных территорий

Охарактеризованы особенности геохимического состояния магматических, вулканогенно-осадочных и осадочных пород, а также минералов и их ассоциаций в алмазоперспективных регионах. Показано, что процессы вторичного и гипергенного минералообразования проходили в большом интервале температур и при вызванном их спадом изменении реакции среды: от щелочной к кислой с последующей нейтрализацией, что зафиксировалось в форме растворения, дорастания и возникновения новых генераций вторичных минералов и чётко отразилось на геохимических особенностях пород. Большое внимание уделено петролого-минералогическим и геохимическим характеристикам кимберлитовых пород с различной продуктивностью, а также различной степени изменения. Высказаны предположения о зональности литосферной мантии кимберлитовой провинции и её алмазоносных территорий, а также даны рекомендации по проведению прогнозно-поисковых работ на алмазы.

Ключевые слова: кимберлиты, постмагматические и гипергенные процессы, вторичные минералы, петролого-минералогическая характеристика, геохимия, алмазоносные провинции.

ЗИНЧУК НИКОЛАЙ НИКОЛАЕВИЧ, доктор геолого-минералогических наук, nnzinchuk@rambler.ru

Западно-Якутский научный центр (ЗЯНЦ) Академии наук Республики Саха (Якутия), г. Мирный

Geochemical features of non-coeval formations in diamond-promising territories

N. N. ZINCHUK

Chairman of West-Yakutian Scientific Centre (WYSC) of Republic Sakha (Yakutia) Academy of Sciences, Mirny

Characteristic features of the geochemical state are described of magmatic, volcanosedimentary, and sedimentary rocks, as well as of minerals and mineral assemblages, distributed in diamond-promising regions. It is shown that processes of the secondary and supergene mineral formation occurred in a wide range of temperatures and of the environment reaction changes from alkaline to acid state with subsequent neutralization due to the temperature decline, which was recorded in the forms of mineral dissolution and overgrowth and in appearance of new generations of secondary minerals and had a clear effect on the geochemical features of the rocks. Much attention is paid to the petrological, mineralogical, and geochemical characteristics of kimberlitic rocks with different in the productivity and alteration degree. Assumptions are made as to a zonality of the lithospheric mantle of the kimberlite province and to its diamond-bearing territories, and recommendations are given for the diamond forecasting and prospecting.

Key words: kimberlites, postmagmatic and supergene processes, secondary minerals, petrological and mineralogical characteristics, geochemistry, diamond-bearing provinces.

Введение. За последние несколько десятилетий опубликовано значительное количество работ по геохимии отдельных элементов [4, 8–10, 12, 15, 18, 20], а также петрохимии кимберлитов, лампроитов и конвергентных им пород [1–3, 5–7, 14, 19], изученных в различных алмазоносных районах Сибирской (СП), Восточно-Европейской (ВЕП), Южно-Африканской (ЮАП) платформ и других перспективных на алмазы территорий. Магматические образования широко распространены на рассматриваемых территориях и представлены

породами среднепалеозойского и мезозойского комплексов, различающимися не только по возрасту, но и петрохимическому составу, формам и условиям проявления. Среднепалеозойский магматический комплекс представлен интрузивными породами кимберлитовой и трапповой формаций. Породы основного состава установлены в виде интрузий и покровов долеритов, залегающих на различных глубинах. К ним относятся [1–4, 8, 10] недифференцированные и слабодифференцированные тела долеритов и габбро-долеритов,

внедрившиеся в нижние горизонты карбонатных пород раннего палеозоя. В центральной части и на севере Малоботубинского района (МБАР) Якутской алмазонасной провинции (ЯАП) известны трубки взрыва пород основного состава, а также не выходящие на дневную поверхность среднепалеозойские дайковые тела долеритов, картируемые по геолого-геофизическим данным. В ЯАП известны [4] свыше тысячи тел кимберлитовых и кимберлитоподобных пород различного морфологического типа (трубки, жилы, дайки, силлы и штоки), пространственно расположенных в следующих обособленных алмазонасных районах: МБАР, Далдыно-Алакитский (ДААР), Среднемархинский (СМАР), Муно-Тюнгский (МТАР), Приленский (ПАР), Оленёкский (ОАР), Анабарский (ААР) и Центрально-Алданский или Южно-Якутский (ЦААР). Внутри этих районов локализованы 24 рудных поля кимберлитов, среди которых промышленное значение имеют коренные месторождения в составе МБАР (Мирнинское поле), ДААР (Далдынское и Алакит-Маринское), МТАР (Верхнемунское) и СМАР (Накынское). Кимберлитовые поля представляют собой пространственно сближенные группы и отдельные кимберлитовые тела, обычно близкие по возрасту, сходные между собой по вещественному составу и алмазонасности и обладающие признаками сродства по близости структурно-тектонических условий своего формирования. Структуры кимберлитовых полей сугубо индивидуальны, зависят от совокупности региональных тектонических особенностей и специфики истории геологического развития каждого конкретного кимберлитонасного района: это – мощности и структуры осадочного чехла, возраст, глубины заложения магматических очаговых систем, зон глубинных разломов, степень и интенсивность тектонической нарушенности кристаллических пород фундамента и платформенного чехла, палеогеографические условия сохранности кимберлитовых тел и подчинённость их элементам неотектоники. Границы полей обычно условные и проводятся по положению крайних кимберлитовых тел. Морфология полей также условная, видоизменяющая свой облик при открытии новых тел, но и в целом близкая к изометричным или линейно-вытянутым формам. Вытянутость соответствует генеральному простираю осевых линий, рудоконтролирующих зон и вмещающих глубинных разломов. Площадь кимберлитовых полей колеблется

от 28,5 (Верхнемунское) до 1000 км² и более. Расположение кимберлитовых тел в структуре рудного поля носит обычно линейный или групповой характер, что предопределяет формирование кустов тел из 3–5 и более диатрем. Примечательно, что каждый такой куст обладает [4, 15] признаками петрологического сходства, минерального и химического состава, а также алмазонасности. Особое внимание привлекают так называемые трубки-лидеры, представляющие собой коренные алмазные месторождения, имеющие наиболее крупные в поле размеры, состоящие из 1–2 и более рудных столбов, сформированных в несколько этапов и фаз и сложенных различными петрографическими разностями с варьирующим минералого-геохимическим составом и различным уровнем алмазонасности. Так, например, месторождение трубки Удачная состоит [11, 13, 16] из двух рудных тел трубчатого типа, имеющих собственные элементы склонения (падения), близкие изометричные формы, но состоящие из разных типов кимберлитовых пород. Рудные тела восточного и западного тел трубки Удачная осложнены внедрением до-, син- и посттрубчатых систем жильных тел и даек кимберлитов, а также двух мелких «слепых» кимберлитовых тел-сателлитов трубчатого типа, установленных в разрезе пород нижнего палеозоя на удалении более 250–350 м от основного рудного столба восточного тела диатремы. Аналогичным образом можно рассматривать и структурный план диатремы Мир, сопровождающейся трубкой Спутник, строение которых также осложнено существованием жильных и даечных тел кимберлитов. Близкие характеристики достаточно сложного строения имеют коренные месторождения трубок Айхал, Интернациональная, Ботубинская, Амакинская и др. [21–26]. Это позволяет предполагать, что каждое более-менее крупное коренное месторождение алмазов в структурном плане представляет собой миникуст из разновозрастных кимберлитовых тел, обладающих не только элементами генетического сродства и сходства, но и свидетельствующих о возможности существования 1–2 магмоподводящих каналов, а процесс их становления может рассматриваться как явление «канал в канале», когда в периоды вулканической активизации, кимберлитовый расплав каждой последующей фазы использует уже структурно подготовленные пути подъёма в верхние горизонты перекрывающего разреза [27, 28]. Каждая такая сложностроенная

система представляет собой миникуст из нескольких пространственно сближенных рудных тел кимберлитов различного морфогенетического типа.

Фактический материал, результаты исследований и их интерпретация. Алмазоносные кимберлитовые поля СП (МКП, НКП, АМКП, ДКП и ВМКП) формируют [29, 32] южную часть ЯАП, выделяемую по петрохимическим, минералогическим, геохимическим и возрастным особенностям в составе Вилуйской субпровинции. Морфология рудных тел кимберлитов представлена трубками, жилами и дайками, реже штоками, сложенными порфирированными кимберлитами (ПК) и кимберлитовыми брекчиями (КБ), отличающимися наличием выраженной геохимической специализации, достаточно контрастной по отношению к родственным им щелочно-базальтоидным породам. Выражено это в обогащении кимберлитов Cr, Ni и Co при более низком уровне концентраций Zr и Mn. Кимберлиты ЯАП при этом характеризуются относительно невысокими содержаниями щелочей. В сравнении с ультраосновными породами для кимберлитов ЯАП показательно возрастание количества Zr, Nb, Ge, La, Pb и Sr при резком преобладании K над Na [30, 31, 33]. По отношению к лампроитам в кимберлитах выше уровень содержания окислов Ti, K, P, F, но ниже Mg, Ca и CO₂. Геохимическая специализация кимберлитов заключается [34–37] в необычном сочетании элементов сидерофильной группы (Cr, Ni, Co, Sc) с редкими рассеянными и радиоактивными литофильными элементами (Nb, Zr, Rb, Sr, Ba, Th, U). Обогащённость литофильными элементами относительно мантийных гранатовых перидотитов в кимберлитах и лампроитах достигает от 5–50 до 200 и выше. По сравнению с микроэлементным составом хондритов и щелочных пород других типов кимберлиты отличаются высокой концентрацией тяжёлых редкоземельных элементов и относительным обогащением лёгкими редкоземельными.

Петрохимические отличия кимберлитов достаточно чётко проявляются [1–4, 8, 10, 15, 20] при сравнении их с другими типами пород. Поведение доминирующих окислов и элементов особенно чётко регулирует отличительные геохимические черты петрологических разновидностей кимберлитов взрывчатой и интрузивной фаз внедрения. Автолитовые кимберлитовые брекчии (АКБ) отличаются от КБ с массивной текстурой цемента по содержанию CaO, MgO, H₂O и CO₂. Для боль-

шинства редких элементов более высокий уровень концентрации отмечен у КБ. Проявление признаков геохимической специализации находит своё отражение и в структуре кимберлитовых полей, что выражено в петрохимических характеристиках кимберлитов. Например, кимберлиты Вилуйской субпровинции отличаются [9, 11, 12, 16, 18] от однотипных пород северных территорий (Оленёкская субпровинция) более низкими содержаниями окислов Ti, Al, Fe, K, P и по значениям разного рода петрохимических показателей (Si/Mg, Mg/Fe и др.). В результате системных исследований установлены признаки латеральной геохимической зональности в распределении содержаний доминирующих окислов и малых элементов в составе кимберлитов Сибирской платформы. Выражены они в обогащении щелочами, железом, титаном при одновременном снижении магнезиальности и алмазоносности кимберлитовых пород в направлении от центра к периферии провинции. Аналогичные закономерности в дифференциации состава кимберлитов фиксируются и внутри рудных полей кимберлитов. Так, в пределах ДААР определено, что трубки периферии отличаются от центральных частей максимальным значением степени окисленности пород (Fe³⁺/Fe²⁺), повышенными содержаниями Ni, P и суммы Fe. Аналогичные исследования проведены также на примере МКП, АМКП, ДКП и ВМКП. Признаки её существования зафиксированы и для НКП. При этом отмечено, что существование зональности является отражением единой схемы геохимической дифференциации кимберлитовой магмы от центра очаговой системы к периферии как в плане провинции, так и по эпохам кимберлитового магматизма. В частности, по уровню содержаний индикаторных элементов определена тенденция падения во времени концентрации Cr, Ni и Co при одновременном росте значений сумм Mn, Ti и V.

Эти вариации носят выдержанный характер по исследованным полям кимберлитопоявления и обнаруживают свойства цикличности, иногда коррелируемой с уровнем продуктивности [39–41].

В связи с началом освоения *Архангельской алмазоносной провинции* (ААП) на ВЕП актуальным явилось [4, 8–10, 14–16] изучение природной составляющей геохимической специализации территории. Геохимическими исследованиями, проведёнными в пределах *Зимнебережного алмазоносного района* (ЗБАР), подтверждено, что проявления

кимберлитового магматизма отображаются в геохимическом поле в виде специфических первичных и вторичных биогеохимических ореолов широкого спектра элементов. Основными элементами-индикаторами являются Cr, Ni, Co, Zr, Li, Cu, Ba, Nb, Ti, Sr, Ga, Sc, V и Mn. Для алмазоносных разновидностей кимберлитов типоморфными являются Cr и Ni. Слабоалмазоносные кимберлиты характеризуются повышенными содержаниями Zr, Ti, Cu, Ba, Sc, Nb, Sr, Ga, V и В. Специфической особенностью кимберлитов ВЕП является их обогащение редкоземельными элементами, причём содержание их в трубках значительно (на 1–2 порядка) выше, и поэтому отдельные кимберлитовые тела сопровождаются сложного состава лито-гидрохимическими потоками рассеяния типоморфных элементов различной протяжённости и контрастности. Наиболее информативен гидрохимический метод поисков, а менее информативными являются биогеохимические и литохимические приёмы по потокам рассеяния. В результате анализа статистических параметров распределения элементов-индикаторов (среднее содержание, среднеквадратичные отклонения, кларки концентрации, стандарты и др.) установлено, что все литохимические разновидности кимберлитов ЗБАР в целом характеризуются постоянством микрокомпонентного состава. Отличительной их чертой является [2–4, 8, 10, 15, 20] значительная обогащённость относительно осадочных пород Co, Ni, Cr, в меньшей степени Cu, Zn, Ba, Pb, Mn, V, Sn и существенная обеднённость Ti, Zr и Yt. Это в полной мере соответствует магматогенной и ксеногенной специализации кимберлитовых пород региона. Корреляционный анализ средних содержаний кимберлитовых пород ЗБАР позволил установить, что практически все исследуемые элементы в кимберлитах образуют сложное корреляционное ядро, в составе которого отмечены Ni, Co, Cr, Zn, Cu, V и Zr. Отличительной чертой является отсутствие между анализируемыми элементами отрицательных связей.

Кимберлиты *трубки им. В. Гриба из Верхотинского поля* тяготеют [4] на геохимических диаграммах к группе кимберлитов Золотицкого поля. Это сходство обусловлено высокой магнизиальностью сравниваемых пород, поскольку в этой области составов геохимические различия кимберлитов разных групп нивелируются. Автолитовый кимберлит этой трубки насыщен ксеногенным мантийным материалом (пироп, пикроильменит,

хромдиопсид и др.), от которого полностью трудно избавиться при подготовке образцов к анализам. На дискриминантной диаграмме TiO_2-K_2O кимберлиты Золотицкого поля и Терского берега лежат на тренде слюдяных кимберлитов, для которого характерны вариации содержания K_2O при относительно невысоких концентрациях TiO_2 . Судя по распределению порообразующих оксидов, большинство некантаминированных кимберлитов северной окраины ВЕП относятся к типу неслюдистых (с малым количеством слюды) кимберлитов. Кимберлиты Золотицкого поля и трубки им. В. Гриба относительно обеднены Nb, Zr, Ta, Hf, Th и U, концентрации которых обычно не превышают соответственно 70, 160, 3, 5, 4, 5 и 1 г/т. В отличие от этого, в кимберлитах Среднего Тимана и Кепинского поля ААП содержания этих элементов заметно выше и соответственно составляют 100–180, 120–350, 5–13, 3,5–8, 8–14 и 2,5–6 г/т. Исследователями кимберлитов ВЕП сделан вывод о необходимости разработки для этих пород своей петролого-геохимической классификации с выделением их в особую группу кимберлитов, отличающихся от аналогичных образований СП и ЮАП. Возможно, эти отличия связаны с особенностями глубинного строения земной коры и верхней мантии в пределах ВЕП, а также с различными условиями генерации и эволюции кимберлитовых расплавов. При проведении дополнительных исследований необходимо найти своё место в системе петролого-геохимических характеристик кимберлитовым породам высокоалмазоносной трубки им. В. Гриба, резко отличающейся по минералам тяжёлой фракции, их набору и количественным соотношениям мегакристаллов от кимберлитов Золотицкого поля ААП.

Важными для общей вещественной характеристики перспективных территорий являются данные о *геохимии трапповых образований*, широко развитых во многих алмазоносных районах СП. Проявлен трапповый магматический комплекс недифференцированными и слабодифференцированными интрузиями – пластовыми телами (силлами), пологосекущими интрузиями, реже дайками и штокверками, внедрившимися в терригенные толщи, нередко прорывая последние. Представлены такие магматические образования [5] долеритами, габбродолеритами и толеитовыми базальтами. Размеры интрузий изменчивы как по площади проявления (от первых до сотен км²), так и по мощности (от 5 до 200 и более метров).

Наряду с интрузиями отмечаются дайки мощностью до 50 м, реже силлы (до 70 м), сложенные субщелочными основными породами. Геохимия и рудогенез базитов СП изучены достаточно глубоко в связи с их рудогенерирующей ролью в медно-никелевых, свинцово-цинковых, железорудных, медных проявлениях и месторождениях исландского шпата, а также при совершенствовании геолого-геофизических методов поисков алмазных месторождений, открытых на многих таких территориях. Для всех изученных трапповых интрузий СП характерна близость их петрохимического и геохимического составов. В целом в таких породах Тунгусской субпровинции (ТСП) доминируют Zn, V, Cr, Ni, Sr и Ga. Структура корреляционных связей микроэлементов показывает тенденцию к формированию сразу нескольких парагенетических ассоциаций: Li–Ag–Ba, Sc–Cr–Ni–Ga, Ti–Nb, V–Ni–Sn, Cr–Ga, Co–Ni, Cu–Nb, Ga–Nb, Cu–Ag–Sn и др. Для данного типа пород характерны высокие значения дисперсии содержаний V, Cr, Sc, Sr, Mn, Ni и Zn. В отличие от этих пород, для более поверхностных образований, присущих траппам Ангаро-Вилуйской субпровинции (АВСП), свойственны более высокие содержания Cr, Co, Ni и V. При этом роль халькофильных элементов (Sc и Zn) незначительна и переменчива. Площадное развитие интрузий долеритов ТСП и АВСП предопределяет их существенное влияние на параметры регионального геохимического фона, что необходимо учитывать при геохимическом районировании этих территорий. В каждом конкретном случае в зависимости от типа и фациальной принадлежности траппов, характера их взаимоотношений с вмещающими породами фиксируется проявление индивидуальных отличий крупных интрузий. Так, секущие и пластовые тела Улардахской и Эрбэйэкской интрузий залегают среди терригенно-карбонатных пород кембрия. В силу эндогенного и постмагматического воздействия траппов раннепалеозойские отложения испытали преобразования и характеризуются относительным накоплением таких малых элементов, как V, Ni, Mo и Pb. Менее контрастно происходит увеличение содержаний Ga, Cr, Co, Mn, Zn и Sn. Специфический состав имеет и группа элементов с высокими значениями дисперсии – Ti, V, Cr, Co, Sc и Mn. Индивидуальны парагенетические ассоциации взаимокоррелируемых микроэлементов: Li–V–Ti–Sc–Cr–Ni–Ga–Zr и Ni–Ga–Zr. Постмагматическое воздей-

ствии Алымджахской и Олгуйдахской пластовых интрузий, прорывающих образования ордовика, выражено в накоплении Zn, к которому тяготеют Zr, Yb, Sc, V, Mo, Nb и Co. Высокая степень дисперсии содержания установлена для Co, Ti, V, Cr, Cu и Mn. Состав микроэлементных ассоциаций имеет следующий вид: Li–Sc–Ti–V–Cr–Ni–Ga–Sn и Cu–Ga–Ag–Sn–Ni–Zr. В свою очередь, Лахарчано-Батырская и Сянская трапповые интрузии, прорывающие терригенно-карбонатные породы ордовика и силура, привели к слабому накоплению в раннепалеозойском разрезе Ti, Sc, Y, Mo, Ba и Sr, являющихся типоморфными элементами траппового магматизма. Высокие дисперсии содержаний в данном случае наблюдаются в распределении Sr, Ba, Ti, Co, V и Mn, а парагенетические ассоциации имеют следующий вид: V–Cr–Ga–Y–Ag, Cr–Ga–Y–Ag–Ba, Ni–Ga–Zr. Приведённые данные свидетельствуют о достаточно выдержанном составе геохимических особенностей траппового магматизма, хотя и показывают специфические черты при внедрении в разновозрастные осадочные нижнепалеозойские толщи. Знание этих особенностей необходимо учитывать при проведении палеогеографических реконструкций таких территорий в процессе проведения прогнозно-поисковых работ на алмазы.

Большое научное и прогнозно-поисковое значение имеют данные по *геохимии древних кор выветривания* (КВ), широко развитых в алмазоносных регионах на породах различного состава (терригенно-карбонатных, долеритах, туфах, туфобрекчиях, туфогенных образованиях и кимберлитах), являющихся основным поставщиком местного (в том числе и алмазоносного) материала в области накопления, формируя россыпи и россыпепроявления алмазов. На Сибирской платформе в основных алмазоносных районах (МБАР, ДААР и СМАР) благоприятные палеогеоморфологические условия для формирования мощных кор выветривания существовали в позднедевонско-раннекаменноугольное и средне-позднетриасовое время [5–7, 9, 10, 12, 14, 18, 19]. В профилях КВ на *терригенно-карбонатных породах* СП можно выделить комплекс петрохимических элементов (рис. 1, А–В), отличающихся определённой инертностью и лишь незначительно изменяющихся вверх по разрезу – P, Cr, Mn, Ti, Fe, Na и F. Наиболее значительная изменчивость характерна для серного ангидрида, Ca, Mg, Fe²⁺, Al и Si. Образование в верхних частях профилей

выветривания указанных пород промежуточных сульфатных минералов приводит с существенным колебаниям в этих частях элювиальных толщ концентрации Si и Al. В отличие от этого, Cr, Mn, F, P и Na характеризуются сравнительно слабой подвижностью. Положительной корреляцией в таких профилях связаны Mg–Mn, Ni–F и K–Si. В то же время Al тяготеет к паре Ni–F, а Cr – к паре Mg–Mn. Анализ распределения акцессорных элементов в пределах изученных профилей КВ этого типа в целом свидетельствует об их относительно монотонном изменении. Некоторой тенденцией к накоплению характеризуются лишь Mo, Pb, Ga, Ti и Ba. При структурном анализе корреляционных матриц выделены следующие парагенетические ассоциации элементов: Ba–Sr–Mo–Zr, V–Nb–Ti,

Co–Ni–Mn, Ga–Zn и Cu–В. В КВ на терригенно-карбонатных породах дораннеюрского возраста в верхних горизонтах отмечены повышенные концентрации Al и Fe³⁺. Элементы, для которых характерны уменьшения концентрации в зависимости от степени выветрелости пород, образуют следующий петрохимический ряд: Mn, K, Mg, Fe²⁺, Ca, Al и Ti.

На многих участках трапповых плато сохранились остатки КВ на *долеритах*. Наибольшая изменчивость и устойчивость в КВ этого типа характерна для CO₂, Na₂O, CaO, K₂O и FeO (рис. 2, А–Г). В значительно меньшей степени изменяется концентрация Al₂O₃ и SiO₂. В целом наблюдается наиболее чётко выраженная тенденция к накоплению Fe₂O₃. В отличие от этого, тенденцию

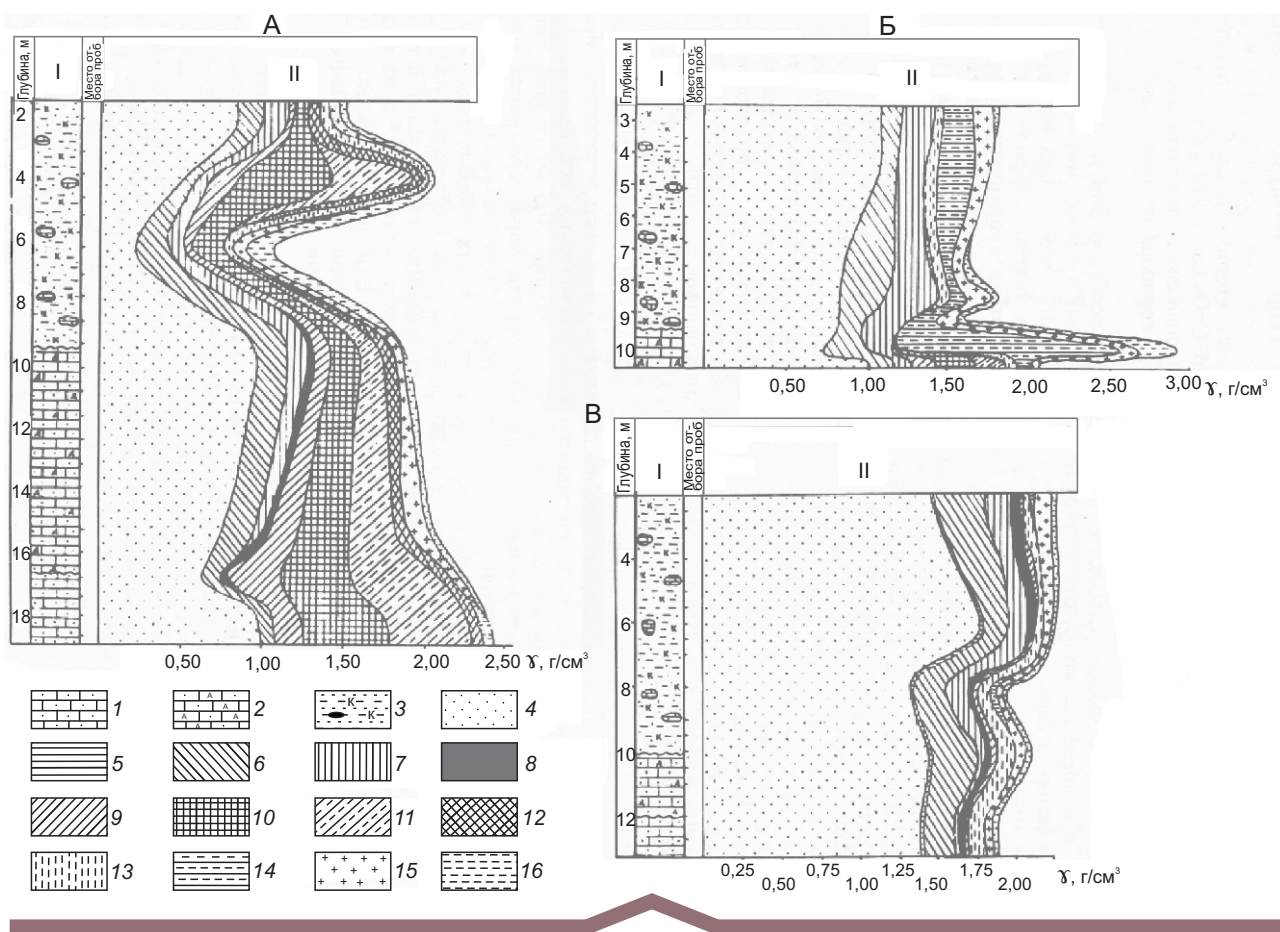


Рис. 1. Геохимические диаграммы доверхнепалеозойской (А, Б) и дораннеюрской (В) кор выветривания на терригенно-карбонатных породах [26]:

I – литологическая колонка: 1 – плотные известковистые песчаники, 2 – дезинтегрированные породы, 3 – выветрелые породы; II – концентрация компонентов (в г/см³): 4 – SiO₂, 5 – TiO₂, 6 – Al₂O₃, 7 – Fe₂O₃, 8 – FeO, 9 – MgO, 10 – CaO, 11 – CO₂, 12 – MnO+Cr₂O₃+CoO, 13 – K₂O+Na₂O, 14 – SO₃+P₂O₅+ппп, 15 – H₂O⁺, 16 – H₂O

к дифференцированному выносу из породы показывают Na_2O , CaO , FeO (переход к Fe_2O_3) и SiO_2 . Остальные породообразующие окислы не образуют чёткого линейного тренда. Акцессорные элементы в рассматриваемом типе профилей отличаются отсутствием чёткой тенденции к законо-

мерному изменению их содержания. Несколько увеличивается снизу вверх по разрезу концентрация Rb и Li . Статистически выделяются следующие парагенетические ассоциации, отличающиеся значительной устойчивостью по данному типу профилей выветривания: Pb-Ba-V и Cs-Li-Cr .

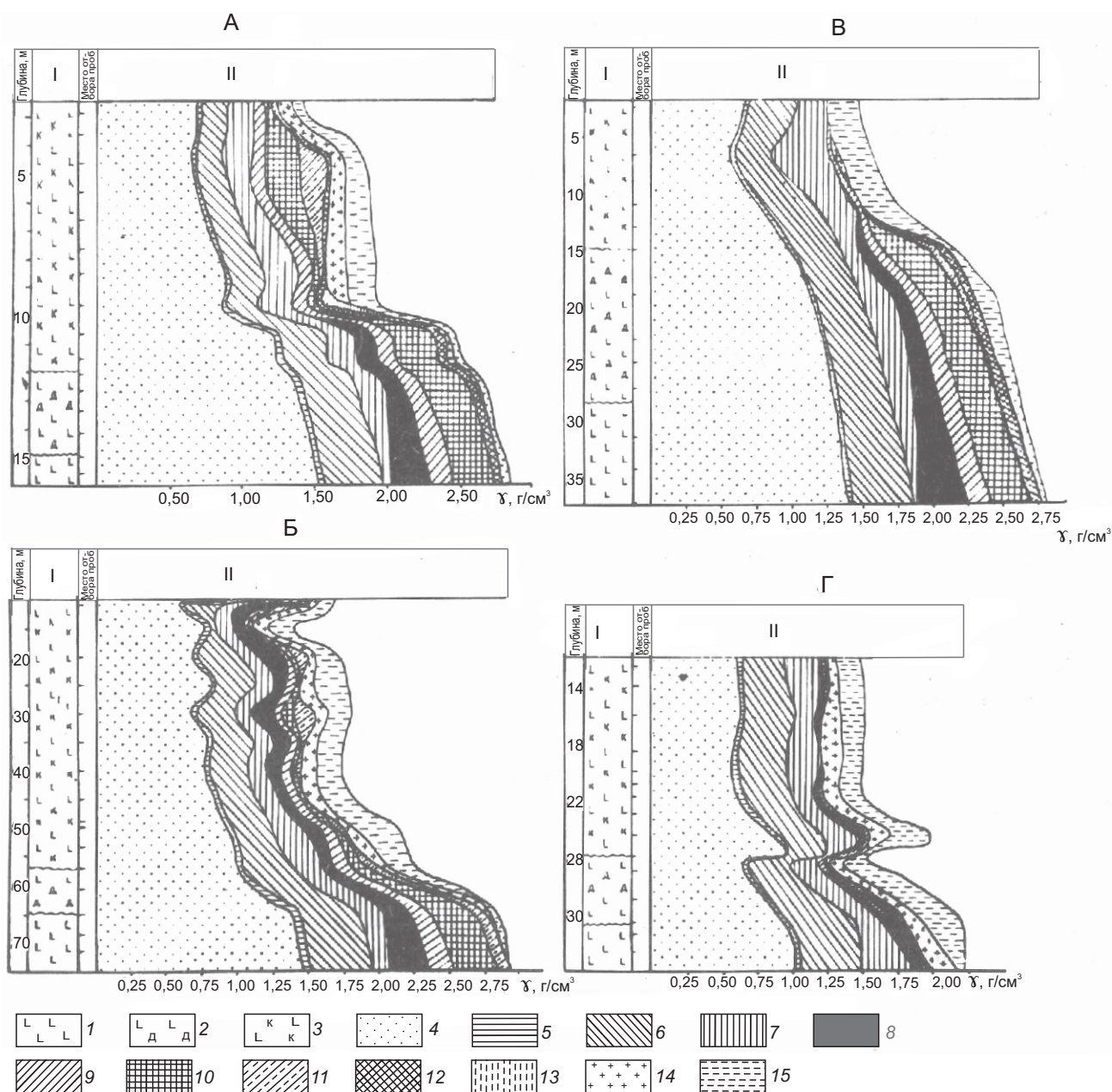


Рис. 2. Геохимические диаграммы коры выветривания долеритов по опорным разрезам [33]:

скважины: А – 264/334, Б – № 1, В – 3004, Г – 202/44; I – литологическая колонка: 1 – плотные долериты, 2 – дезинтегрированные породы, 3 – выветрелые породы; II – Концентрация компонентов (г/см^3): 4 – SiO_2 , 5 – TiO_2 , 6 – Al_2O_3 , 7 – Fe_2O_3 , 8 – FeO , 9 – MgO , 10 – CaO , 11 – CO_2 , 12 – $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$, 13 – $\text{SO}_3+\text{P}_2\text{O}_5+\text{ппп}$, 14 – H_2O^+ , 15 – H_2O^-

Кроме того, Сг в ряде случаев показывает довольно тесную связь с Rb. В профилях КВ *туфов и туфобрекчий трубчатого типа* преобладающая роль принадлежит SiO_2 и Al_2O_3 , а в отдельных частях профилей также Fe_2O_3 (рис. 3, А–Б). Распределение почти всех компонентов отличается наличием в профилях ряда отдельных максимумов их содержания. Наиболее высокий коэффициент содержания отдельных элементов характерен для К и Са, менее – для Fe^{2+} , Мо и Fe^{3+} . Отмечаются резкие колебания в накоплении по разрезу Fe_2O_3 , что связано с концентрацией в отдельных интервалах гидроксидов Fe. В суммарном балансе вещества по профилям этого типа общую тенденцию к накоплению показывают Al_2O_3 и Fe_2O_3 . На-

блюдается уменьшение концентрации вследствие выноса из пород K_2O , СаО, MgO и Na_2O . Для малых элементов характерно в целом примерно равномерное распределение их содержания по этому типу профилей. Некоторая тенденция к накоплению отмечена только для Ni и Со. Ассоциативный анализ этой многокомпонентной системы позволил выделить следующие устойчивые ассоциации парагенетических элементов: Sr–Zn–Cu–Sc и Со–Ni. Остальные элементы не образуют значимых корреляционных связей. Рассматривая в целом элювиальные профили выветривания туфогенных образований трубчатого типа и площадных КВ корвунчанской свиты нижнего триаса, можно наметить общую тенденцию к изменчивости:

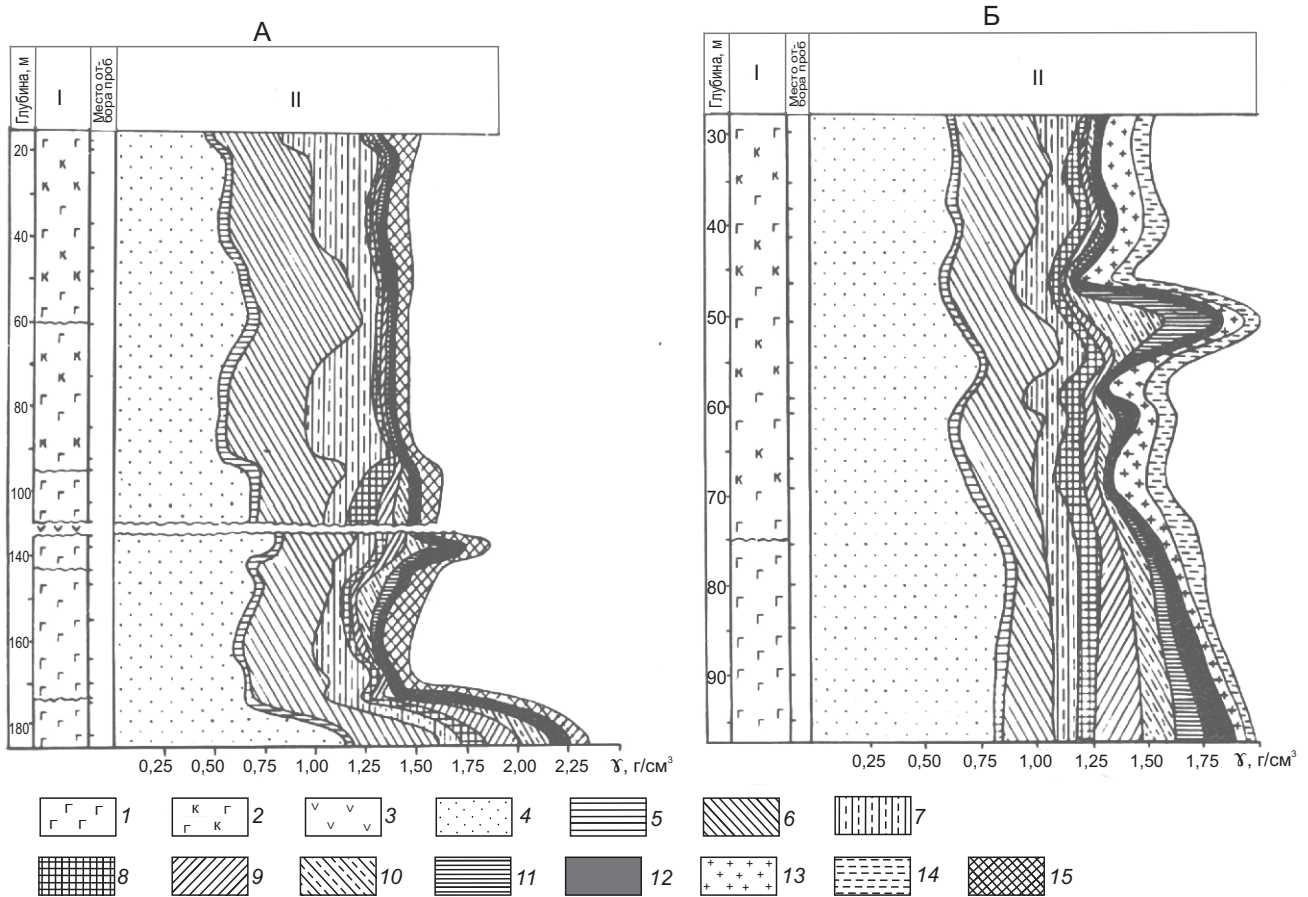


Рис. 3. Геохимические диаграммы коры выветривания туфов и туфобрекчий трубчатых тел [16] Ан-49 (А) и Ан-50 (Б):

I – литологическая колонка: 1 – туфы и туфобрекчий, 2 – кора выветривания туфов и туфобрекчий, 3 – прослой долеритов; II – оксиды (в г/см^3): 4 – SiO_2 , 5 – TiO_2 , 6 – Al_2O_3 , 7 – Fe_2O_3 , 8 – FeO, 9 – MgO, 10 – СаО, 11 – CO_2 , 12 – $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$, 13 – H_2O^+ , 14 – H_2O , 15 – $\text{H}_2\text{O}_{\text{общ}}$.

$Mn > P > Ca > K > CO_2 > Na > F$. Отличительной чертой профилей КВ корвунчанской свиты является высокая активность серного ангидрита, что может быть связано как с исходным составом пород, так и с поступлением растворов, обогащённых сульфосолями из нижележащих нижнепалеозойских отложений. Для пород корвунчанской свиты, подвергшихся выветриванию, характерны [9–11, 22] следующие ассоциации петрогенных компонентов: $MgO-K_2O-P_2O_5-F$, $Na_2O-TiO_2-NiO-Cr_2O_3$ и $MgO-H_2O$. Последняя ассоциация, также как и ассоциации $SiO_2-Al_2O_3$, $Al_2O_3-CO_2$ и $CaO-CO_2-Al_2O_3$, не является устойчивой и обнаружена лишь в отдельных интервалах профилей выветривания.

Линейная кора выветривания на *кимберлитах* определена [8, 14, 15, 17, 19, 20] размерами самих диатрем в их верхних частях. В диатремах с наиболее химически переработанными продуктами выветривания (трубка имени XXIII съезда КПСС и др.) наиболее высокой изменчивостью характеризуются такие петрогенные компоненты, как Fe_2O_3 , Al_2O_3 , TiO_2 , MgO и CaO (рис. 4, А–Г). В суммарном балансе вещества по описываемому профилю выветривания наиболее высокой подвижностью и способностью к выносу характеризуются CaO , MgO и CO_2 , что связано с растворением в процессе выветривания отдельных компонентов ультраосновной породы (кальцита, флогопита, хлорита и частично серпентина). Это обуславливает выпадение новых фаз, не идентичных по химическому составу, и удаление из разрезов продуктов реакции. Предпочтительная тенденция к накоплению свойственна Fe_2O_3 , TiO_2 , Al_2O_3 и SiO_2 . Аксессуарные элементы в большинстве случаев показывают линейную тенденцию изменения их содержания вверх по разрезу. Общее увеличение их концентрации характерно для Sc , Ga , Mn , Nb , V , Cu , Zr , Co , Cr и La . Тенденцию к выносу показывают Pb и Cs . Максимум содержания в средних частях разреза отмечен для Be , Pb , Ni , Zn и Sr . Ассоциативный анализ пород данного профиля позволяет выделить следующие парагенетические ассоциации: $Be-Sc-Mg-Cu-V$, $Cr-Co-Zr-Nb-Mn$ и $Zn-Ni$. Остальные элементы характеризуются относительной независимостью изменения кимберлитов в процессе их гипергенного изменения. Для КВ кимберлитов ВЕП характерна (рис. 5) высокая концентрация SiO_2 (до 69,5 мас.%), что вызвано повышенным содержанием в породах тонкодисперсного кварца.

В отдельных интервалах КВ, где роль тонкодисперсного кварца незначительна, концентрация кремнезёма уменьшается до 14,95 мас.%. Для изученных пород характерно невысокое в целом содержание Al_2O_3 (3,10–8,90 мас.%). Сравнительно высокая концентрация в породах таких профилей MgO (4,06–18,81 мас.%) объясняется широким развитием в основной массе пород сапонита и серпентина, в структуры которых входит этот петрогенный компонент. Довольно равномерно распределён по разрезу оксид железа. Отмеченный в верхах разреза процесс наложенной вторичной карбонатизации подтверждается повышением в указанных частях содержаний CaO (от 0,051 до 0,732–29,88 мас.%) и CO_2 (от 0,088 до 0,732–31 мас.%). Концентрация остальных компонентов меняется по профилю выветривания кимберлитов ВЕП незначительно.

Для общей геохимической характеристики перспективных территорий большое значение имеют [6, 7, 9, 10, 18] *палеогеохимические факторы* эволюционного преобразования геологической среды, которые взаимосвязаны с определёнными историческими эпохами и имеют свои индивидуальные особенности, характеризующие конкретные геологические периоды и унаследованные более молодыми образованиями, вплоть до сохранения этих отличий в геохимическом облике региона. В этом заключаются суть геохимической значимости геологической среды и их проблема, которая подразумевает необходимость палеогеографических построений и выяснения закономерностей формирования геохимического облика различных по возрасту отложений. Главная трудность процесса реконструкции и восстановления исторических моментов заключается в сложности развития регионов с проявлением эпох интенсивной вулканической деятельности, повышенной тектонической активности с излиянием и становлением огромных масс магматических пород, особенностей их взаимоотношений с осадочными образованиями в различные периоды, с процессами образования рудных месторождений полезных ископаемых, периодов древнего корообразования в условиях длительных континентальных перерывов. С точки зрения прикладной геохимии и экологии исследователями уделяется внимание фанерозойскому периоду, моменту возникновения органической жизни на Земле и её последующей эволюции. С появлением органической составляющей происходит формирование

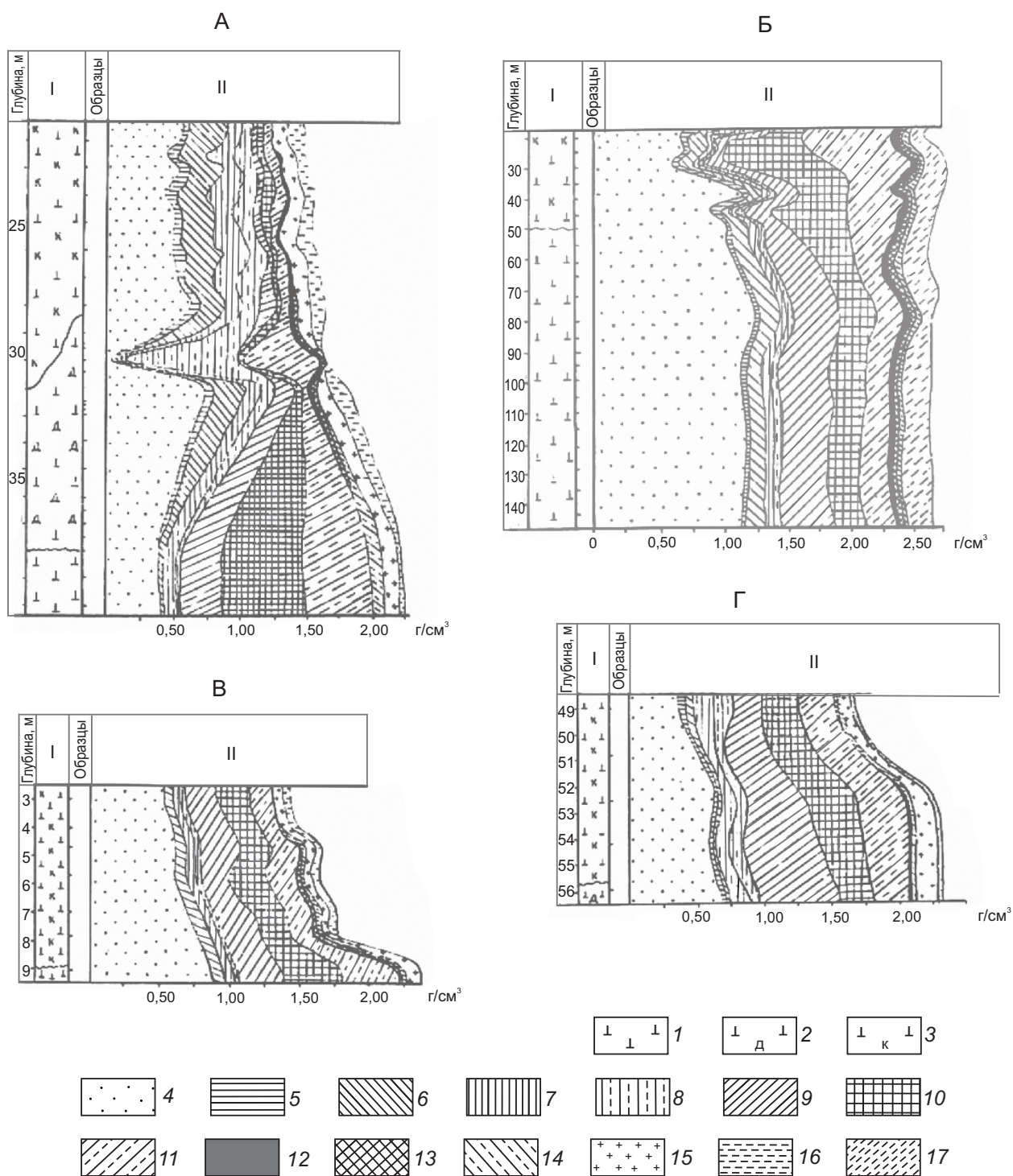


Рис. 4. Геохимические диаграммы коры выветривания кимберлитов трубок имени XXIII съезда КПСС (А), Дачная (Б), Таёжная (В) и Юбилейная (Г) [38]:

литологическая колонка: 1 – плотные кимберлиты, 2 – дезинтегрированные породы, 3 – выветрелые кимберлиты; II – оксиды (в г/см³): 4 – SiO₂, 5 – TiO₂, 6 – Al₂O₃, 7 – Fe₂O₃, 8 – FeO, 9 – MgO, 10 – CaO, 11 – CO₂, 12 – MnO+Cr₂O₃+NiO+CoO, 13 – Na₂O+K₂O, 14 – SO₃+P₂O₅+F+ппп, 15 – H₂O⁺, 16 – H₂O, 17 – H₂O_{общ.}

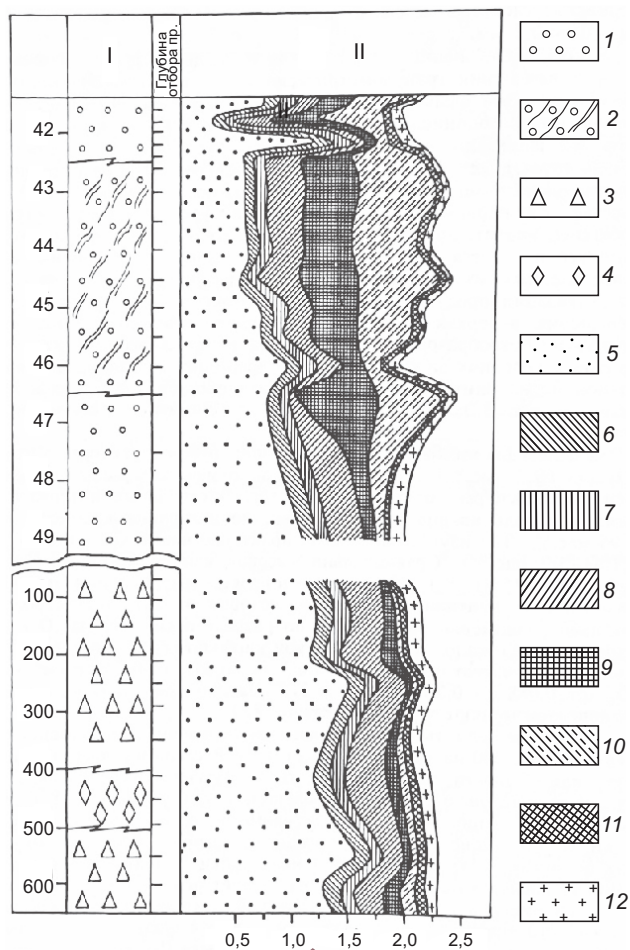


Рис. 5. Геохимическая диаграмма коры выветривания кимберлитов на одной из трубок ВЕП, вскрытых скв. 300 [38]:

I – литологическая колонка: 1 – выветрелая автомагматическая брекчия, 2 – выветрелая, участками карбонатизированная автомагматическая брекчия, 3 – ксенотуфобрекчия, 4 – туфобрекчия; II – оксиды (в г/см³): 5 – SiO₂, 6 – Al₂O₃, 7 – Fe₂O₃, 8 – MgO, 9 – CaO, 10 – CO₂, 11 – K₂O+Na₂O, 12 – H₂O_{общ.}

исключительно мощного энергетического механизма – биогеохимического круговорота вещества в природе, представляющего собой обмен макро- и микроэлементов и простых неорганических веществ (CO₂ и H₂O) с веществом атмосферы, гидросферы и литосферы. Круговорот отдельных веществ многими исследователями называется биогеохимическим циклом, в процессе которого химические элементы, поглощённые организмом, впоследствии покидают его и уходят в абиотическую сферу. Часть этих элементов (биофильных) через некоторое время и при

определённых условиях возвращается в живые организмы, указывая тем самым на функции живого вещества в биосфере. При палеогеохимическом анализе особое внимание уделяется эпохам существования континентальных перерывов, в период которых в результате многовековой эрозии и денудации исчезали мощнейшие толщи массивов горных пород и продукты их дезинтеграции и выветривания переносились на различные (нередко огромные) расстояния.

Геохимическое состояние геологической среды СП, строение которой осложнено [7, 8, 10] существованием крупнейших структур первого порядка: Анабарский массив, Алданский щит, Виллойская и Тунгусская синеклизы, Приверхоянский, Лено-Анабарский и Ангаро-Виллойский прогибы, Оленёкское, Сьюльдюкарское, Чернышевское, Мирнинское, Пеледуйское поднятия и др. Каждая крупная структурная единица обладает своими чертами геолого-тектонического развития, соответственно которым сформированы толщи магматических и осадочных пород, характеризующиеся специфическими вещественно-геохимическими особенностями. Сменяющиеся палеоклиматические и палеотектонические условия развития регионов от докембрия до настоящего времени привели к современному облику отложений, в том числе и обогащённых переотложенным алмазоносным материалом. В этой связи важно для каждой перспективной территории разрабатывать и применять эффективный рациональный комплекс методов и приёмов определения степени и характера концентрации и путей переноса такого материала в бассейны седиментации в период формирования осадочных толщ. Решение этой проблемы проводится путём создания геолого-геохимической модели перспективных территорий, отражающих динамику его геохимического развития от наиболее древних (доступных для изучения) пород до современных отложений. Необходимо последовательно определять и факторы оценки состояния геологической среды, являющейся объектом геохимических исследований. При изучении геохимии геологической среды (осадочные и магматические породы, зоны влияния глубинных разломов, подземные или глубинные минерализованные воды и др.) обращается внимание на определение параметров регионального и местного геохимического фона, оказавшего и определяющего своё влияние на характеристики современных ландшафтов

эколого-геохимических систем регионов. Привлечение к комплексным аналитическим исследованиям, проведённым [18] по логической схеме формирования ландшафтов «геологическая среда (осадочные и магматические породы)–почвы–природные воды–донные осадки–растительность» на основе анализа большого количества проб валового и фазового химического, количественного и полуколичественного спектрального, литологического, атомно-абсорбционного и атомно-эмиссионного и других анализов, позволило решать в каждом случае поставленные задачи. Аналогичным образом по керну скважин структурно-картировочного, разведочного, гидрогеологического и поискового бурения изучены осадочные и магматические образования регионов, с последовательным анализом средних содержаний химических элементов по литотипам пород возрастно-стратиграфических горизонтов относительно их кларковых значений или параметров регионального геохимического фона с окончательным выделением парагенетических ассоциаций химических элементов, обладающих взаимокорреляционными зависимостями.

Результирующим итогом такого рода исследований является усреднённая геолого-геохимическая модель перспективной территории. Основное внимание здесь уделяется элементам с надфоновыми (надкларковыми) значениями, основная часть которых представлена тяжёлыми металлами или микроэлементами, обладающими биогенными свойствами, которые при достижении предела концентраций нередко переходят в разряд экологически опасных.

Динамика геохимической унаследованности по вариациям вещественного состава осадочных толщ различной принадлежности отчётливо прослеживается [8, 15, 20] при анализе их от древних к более молодым образованиям. Существенно карбонатный тип разрезов осадочных пород кембрия, ордовика и силура подчёркивает морской характер накопления осадков, способствующий пересыщенности углекислым газом, хлором и аммиаком с протеканием интенсивных процессов морского выщелачивания и накоплению халько- и литофильных элементов. Определённая их часть представлена элементами Y-Се группы, указывающей на участие в объёме осадконакопления материала древних бассейнов седиментации и магматических пород основного–щелочного–ультраосновного состава. На макрохимическом уровне

реликтовые признаки морского вулканизма подчёркиваются ростом в отложениях концентрации окислов Al, Fe³⁺, Na и K. Девонский период является продолжением каледонского орогенеза, а также фиксируется ранними фазами образования герцинской складчатости. Климат в это время тропический влажный, умеренно влажный и сухой, а к концу девона уже выражена общая гумидизация климата. Каменноугольную эпоху характеризует период развития герцинского орогенеза, сопровождающегося трансгрессией и регрессией тёплых морей в условиях гумидного климата с отложением известняков и доломитов. Пермский период характеризуется эпохой континентального засушливого климата с общим похолоданием, приведшим к образованию пустынных ландшафтов. Интенсивное развитие биосферы в позднем палеозое с активным участием биогенных элементов в условиях мощных корообразовательных процессов на суше предопределили развитие процессов водной и механической миграции химических элементов с относительно заметным накоплением окислов Si, Al, Fe²⁺, P и щелочей с заметной активизацией роли элементов группы Fe. Варьирующие восстановительные и в меньшей степени окислительные условия объясняют накопление Cr, P, Mn, Ti, Zn и В. В мезокайнозойское время (триасовая, юрская и меловая системы) отмечены контрастно изменчивыми параметрами среды, вызванными раздвижением континентов, общим воздыманием материков и последовательным расчленением суши. Современный тип циркуляции атмосферы установился уже в триасовое время, что явилось причиной возникновения и формирования температурной зональности Земли с появлением областей от тропического до холодного климата и их постепенным выравниванием во времени.

Приведённые усреднённые характеристики геохимических особенностей геологической среды основных перспективных территорий являются базовыми при выявлении местных отличий уже внутри конкретных районов, вариации которых закономерно появляются в зависимости от влияния конкретных локальных факторов природного происхождения. Сопоставление разрезов и литолого-стратиграфическое расчленение осадочных толщ регионов выполнены на достаточно представительно каменном материале, который позволяет получить достаточно уверенную статистическую характеристику как по породобразующим,

так и по малым элементам. По результатам сопоставления стратотипичных разрезов, анализа условий и мощностей распределения по площади позднепалеозойских отложений многими исследователями в этой части СП выделены [4, 10] четыре структурно-седиментационные зоны: Сюльдюкарско Моркокинская, Алымджа-Олгуйдахская, Вилуйско-Айхальская и Моркокинская, характеризующиеся собственными условиями осадконакопления и исторического развития. Мезозойские образования, представленные преимущественно раннеюрскими терригенными осадками, наибольшим распространением пользуются в восточной и юго-восточной частях этого региона и установлены в пределах МБАР, на востоке МАР и по всему СМАР. Для решения задач геохимического картирования региона в силу больших глубин залегания под осадочными толщами чехла платформы вариации их вещественного состава принципиального значения не имеют. Это относится и к основанию осадочного чехла, сложенного породами венда – образованиями курсовской свиты, иктяхской серии и переходными к разрезу кембрия отложениями юряхской свиты.

Кембрий представлен на изучаемой территории тремя отделами, подразделёнными на 9 свит. В центральной части МБАР образования толбачанской, олёмминской и чарской свит раннего кембрия отнесены к единому галогенно-карбонатному структурно-вещественному комплексу, для которого характерны пласты каменной соли в составе толбачевской и чарской свит, примерно равное участие доломитов, доломитовых известняков, прослоев мергелей, аргиллитов, битуминозных брекчированных доломитов в олёмминской свите и доломит-ангидритовых пород в чарской свите. Установлена [5, 27] битуминозность практически всего разреза раннекембрийского комплекса. Отмечена для пород комплекса относительно повышенная роль Ca, Mg, K+Na, Cl, что находит своё отражение и в составе повышенного количества Ca^{2+} и Mg^{2+} в водных вытяжках. В геохимическом спектре доминируют Ti, Mn, Mo, Sr, Cu, Ba, V и Li [37]. Собственные геохимические черты присущи породам олёмминской и чарской свит раннего кембрия, в которых отмечены контрастные различия по поведению породообразующих окислов: рост содержания натрия, сульфата и хлора при резком увеличении объёма и числа растворимых компонентов. Здесь происходит выраженное накопление халькофильных элементов Ti, Cu, Sr

и Zn, что связано с наличием в подстилающих олёмминских породах водоносных коллекторов с хлоридно-кальциевыми рассолами. В связи с уменьшением объёма терригенной примеси в породах *чарской* свиты происходит «разубоживание» геохимического спектра микроэлементов с уменьшением количеств Ti, Mg, Ca, Mn, K, P, Ni, Cr, Cu и F при равном объёме Co, Pb, Mo и большем уровне концентраций Na, SO_3 , Cl и Zn. Такое поведение макро- и микрокомпонентного состава пород свиты обусловлено определяющим влиянием пластов каменной соли. Контакты слоёв соли и карбонатных пород в разрезе свиты являются активными геохимическими барьерами, в пределах которых фиксируется возрастание количеств Sr, Mo, V, Ti, Mg, Nb и Pb. Отложения *ичерской* свиты раннего–среднего отделов кембрия являются своеобразным разделом между разными эпохами кембрийского осадконакопления, и на границе свиты фиксируются резкие изменения петрохимических характеристик раннепалеозойского разреза. По отношению к подстилающим породам здесь наблюдается рост содержания окислов Fe и Ca, резкое снижение количеств большого числа малых элементов (Ti, Mn, P, SO_3 , Zn, Cl и Na) с одновременным падением объёма нерастворимого остатка. Связано это не только с вариациями литологического состава пород, но и с влиянием процессов выщелачивания под воздействием агрессивных рассолов подземного водоносного комплекса. По микроэлементным характеристикам породы свиты лишь на уровне содержания Mn близки к кларковым значениям, определяется относительное возрастание количеств W и Mo. В разрезе ичерской свиты выделяется [23, 37] группа микроэлементов, содержания которых здесь выше, чем в подстилающих чарских образованиях – Li, Mn, Co, Zn, Sr, Nb, Ag, Sn, Ga и Pb. Выделена и группа элементов с более низким уровнем концентраций – Si, Ti, V, Zr и Bi, а значения прочих микроэлементов близки между собой. Сравнение средних содержаний микроэлементов по литологическим типам ичерской свиты показывает, что максимальными значениями выделяются доломиты по уровню концентраций Li, Ba, P, Ti, V, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Sr и Zn, что находит своё объяснение как за счёт их литологических особенностей, так и коллекторских свойств [37]. По отношению к подстилающим породам в разрезе ичерской свиты отмечается уменьшение концентраций большинства

макро- и микрокомпонентов. Граница между ними выделяется по возрастанию количества Ba, Ga, Cr, Ti, Cu, Sr, Na и P.

В разрезе пород *среднего кембрия* выделены метегерская и мирнинская (верхоленская) свиты. В пределах Айхальского района *метегерская свита* сопоставляется с удачининской свитой. Геохимическое значение пород среднего кембрия определяется их принадлежностью к так называемому метегеро-ичерскому водоносному комплексу, несущему высокоминерализованные подземные воды, имеющие редкие области разгрузки в руслах крупных водотоков и оказывающие своё влияние на химический состав и донные осадки бассейнов рек Вилюй и Марха. Результаты химического состава пород свиты заметно выделяют их среди раннепалеозойских образований. Здесь установлено возрастание уровня содержаний таких петрогенных компонентов, как Ti, Fe, K, Mn, Mg, P, SO₃, Ni, Cr, Co, Cu при одновременном уменьшении количеств Ca, F, Cl, Zn и равных (или близких к ним) концентрациях Na и Pb. Воздействие внешних факторов видно на примере брекчированных доломитов по вариациям содержаний окислов Ca, Mg и Na. По отношению к подстилающим образованиям ичерской свиты в более молодых породах метегерского разреза определён повышенный уровень концентрации широкого круга элементов [38]: P, Ba, Ga, Ge, Pb, Cr, Ti, Ni, Co, Cu, V, Mo, Ag, Sn, Sr, Mn и Mg. По степени сорбционного накопления на первое место в разрезе пород свиты выступают их терригенные разности – известняки и мергели, которые характеризуются возрастанием объёма химических элементов. Породы *мирнинской (верхоленской)* свиты среднего кембрия связаны с метегерскими постепенными переходами, и граница между ними проводится по кровле самого верхнего в разрезе прослоя кремнистых доломитов. Отличия химизма пород свиты выражены в относительно низких содержаниях окислов Si, Al, Ti, общего Fe и его окисной формы, Na, K, P, SO₃. Тенденции снижения концентраций характерны для элементов группы Fe – Co, Cr, Cu и Zn. По отношению к подстилающим породам отмечается близость содержаний у окислов Ca, Ni и Pb. Главным геохимическим отличием свиты является более высокий уровень содержаний MgO и MnO, что находит своё отражение и в составе водорастворимого комплекса [37].

Позднекембрийские образования (верхний отдел) рассматриваемого региона характеризуются

[5, 6, 28] повсеместным распространением. Изучение геохимии малых элементов данного разреза имеет особо важное значение, поскольку в северной, северо-восточной, восточной и юго-восточной частях региона они обнажены на уровне современного среза, дренируются водными артериями и выступают здесь в роли одного из основных поставщиков выветрелого материала со склонов, формируя данные осадки и определяя их геохимическую специализацию. В разрезе позднего кембрия выделяется *холомолохская свита*, осадки которой погребены под позднепалеозойскими и раннемезозойскими отложениями в юго-восточной части территории, а в западном и северном направлениях перекрыты образованиями ордовика. На уровне современного среза породы холомолохской свиты обнажаются по долинам рек и их притоков. Вариации средних содержаний химических элементов в породах свиты обнаруживают высокую степень дисперсии в их распределении. Количества Ga, Pb, Ti и Cr отмечены в доломитах, а минимальные – у известковистых пород. В составе отложений свиты закономерны вариации содержаний инертных (накапливающихся) элементов (Pb, Zn, Ti, Mn, Ga), для которых определяется генетическая связь с карбонатными и терригенно-карбонатными породами позднего кембрия.

Образования *ордовика* представлены [5, 18, 19, 32] в регионе тремя отделами и подразделены на четыре свиты. В составе *нижнего отдела* выделена *балыктахская свита*, породы которой установлены под более молодыми осадками в виде широкой полосы с юго-запада до северо-востока. На уровне современного эрозионного среза породы свиты образуют широкие поля в северо-восточной части региона. Ранее балыктахские породы выделялись в объёме устькутской свиты раннего ордовика, которой на территории Айхальского района соответствуют олдондинская и сохолохская свиты, распространённые здесь на уровне современного эрозионного среза. Породы балыктахской свиты представлены массивными доломитами, оолитовыми и водорослевыми доломитами и мергелями, что выражается в заметном увеличении до 1,56 значений CaO/MgO. Характерной особенностью разреза является практически полное отсутствие прослоев песчаников. Для пород свиты в позднем кембрии характерны высокие концентрации Co, Ba и Nb. Для центральной части МБАР породы свиты раннего

ордовика отличаются [6] более высокой степенью участия терригенного компонента. Следствием этого являются различия их геохимического спектра, в котором для южной и юго-восточной частей характерными являются W, P, Ti, Co, Zn, Sn, Sr, Mn. Сходство микроэлементного состава разнофациальных зон выражено в близости содержаний таких элементов, как Be, Ba, Ga, Pb, Cr, Ni, Cu, V, Co, Mo, Bi и Nb [52]. По микроэлементным особенностям породы раннего ордовика региона характеризуются следующей ведущей ассоциацией: V–Ni–Co–Ti–Cu–Zn–P–Sr. Химический состав отложений *олдондинской свиты* по отношению к своим аналогам (породам балыктахской свиты) отличается более высоким уровнем концентрации таких окислов, как SiO₂, TiO₂, Al₂O₃, K₂O, SO₃, при практически близких значениях прочих пороодообразующих компонентов. Для *сохолохской свиты* по данным химических анализов, даже по отношению к породам олдондинской свиты, определено возрастание содержания окислов Si, Al, Ti, Fe³⁺ и Fe²⁺, Mn, K с одновременным снижением роли Ca, Mg, CO₂ при близости значений прочих компонентов. *Средний отдел ордовика* представлен в пределах Вилюй-Марха-Маркокинского междуречья отложениями *становской свиты*, погребёнными под молодыми образованиями позднего палеозоя–раннего мезозоя. На погребённой поверхности раннего палеозоя породы свиты развиты в западной части региона в виде узкой полосы северо-восточного направления и фрагментарно обнажены по боковым притокам р. Моркока в её среднем течении. Сложена свита пестроцветными мергелями, алевролитами, аргиллитами с прослоями известняков и доломитов. В качестве характерных химических элементов для свиты определена ассоциация Mn–Y–Yb, для которой выявлены значимые корреляции между элементами. В направлении на юг от среднего течения р. Моркока к р. Алымджа установлено возрастание уровня концентрации таких элементов, как Pb, Co, Ba и V. Литолого-фациальные изменения пород свиты обуславливают и отличия взаимокоррелируемых элементов с образованием значимой Ti–V–Co–Ga ассоциации химических элементов. Образования *верхнего отдела позднего ордовика* на рассматриваемой площади распространены [14, 17, 19, 30, 31, 33] в западной части описываемой территории в виде узкой полосы северо-восточного направления, объединённых в *харыялахскую свиту*. По отношению

к региональному фону для разреза свиты установлены повышенные содержания свинца и близкое к нему поведение Sr, Sc, Ba и V. Изучение особенностей структуры корреляционных связей и результаты анализа статистических параметров распределения содержаний микроэлементов позволили выделить в качестве характерной для свиты V–Cr–Ni–Ga ассоциацию, состав которой указывает на определённое воздействие траппового магматизма на геохимический облик пород позднего ордовика. Это достаточно полно подтверждается спецификой состава групп взаимокоррелируемых малых элементов Li–(P–V–Cr–Ga–Yb), P–(Sc–V–Ga–Y–Zr–Yb), Sc–(Ni–Zr–Yb), V–(Cr–Ni–Ga–Yb), а также высокой степенью дисперсии содержаний Sr, Ba, Ti, Li, Mn и V. Стратиграфически согласно на породах харыялахской свиты залегают образования *оюсутской свиты*, также характеризующиеся весьма локальным распределением на западе района. Разрез свиты сложен глинистыми известняками и мергелями с прослоями глинистых доломитов и известняков. Для пород свиты характерны высокие значения дисперсии Ba, Mn, V, Ti, Li и Sr, а также проявление положительных корреляций сразу нескольких групп элементов: Li–(V–Cr–Ni), Ti–(V–Cr–Ni), V–(Cr–Ni–Ga), Mn–Nb. Состав ассоциаций микроэлементов обнаруживает как сходство их с подстилающими породами харыялахской свиты, так и некоторые их отличия за счёт высокой степени активности лито- и сидерофильных элементов, связанных между собой значимыми корреляциями. Для свиты типичной является ассоциация микроэлементов V–Cr–Ga–Ba–Cu при высоких значениях дисперсии содержаний Sr, Li и V [37].

Образования силурийского возраста относительно высоко распространены на севере и северо-западе исследуемой территории СП, слагая обширные площади погребённой поверхности в его западной части [5]. В составе пород силура выделена *мейикская свита* раннего отделения, относимая к лландоверийскому ярусу. Представлена свита известняками и мергелями. В разрезе свиты содержание TiO₂, MgO, FeO несколько ниже, чем в подстилающих породах. Определено, что рост содержаний K₂O происходит при уменьшении количеств CaO, SiO₂, CO₂ и сопровождается параллельным увеличением объёма Fe, Ti и Mg. Подобное перераспределение содержаний петрогенных окислов и характер

их взаимокорреляций между собой свидетельствуют о существенном влиянии наложенных процессов на геохимический состав пород силура и связаны с масштабным воздействием траппового магматизма. Основные закономерности концентрации микрокомпонентов по литотипам сохраняются. Так, мергели являются основными концентраторами Li, B, V, Cr, Mn и Cu. В доломитах отмечается близость к мергелям количеств B и Cu при большом уровне содержаний Pb, V, Ni и Ti. Известняки занимают промежуточное положение между доломитами и мергелями. Для разрезов силура в качестве типоморфных элементов выделены B, Mn, Zn и Pb. Количества Cr, Cu, Mo и Sn близки к средним, а Li, Ti, Co, Ni и Ga фиксируются в нижефоновых содержаниях. По отношению к региональному фону породы мейикской свиты раннего силура характеризуются незначительным повышением количества Zn и Sn, коэффициенты концентрации которых составляют соответственно 9 и 3. В известняках этого района установлены высокие значения дисперсии содержаний Sr, Ti, Li и положительные концентрации между V–Ni–Cr–Ga–Sc, что указывает на соответствующее влияние на раннесилурийские образования процессов траппового магматизма. В целом геохимические параметры пород мейикской свиты отличаются близкими значениями большинства химических элементов, а также высокой степенью сопоставимости их с характеристиками подстилающих образований. Признаки унаследованности геохимического спектра пород свиты подчёркиваются и видовым составом микроэлементной ассоциации V–Cr–Ga–Cu.

Общими закономерностями геохимии малых элементов пород раннего палеозоя Виллой-Марха-Маркокинского междуречья могут считаться [34]: а) выдержанная тенденция понижения фоновых и средних значений в распределении содержаний снизу вверх по разрезу таких элементов, как Li, V, Cr, Co, Ni и Cu; б) повышение количеств микроэлементов в пределах конкретных участков и площадей региона (Ba, Sr, Pb, Li, V и Zn) обусловлено влиянием более поздних тектоно-магматических процессов и связано с внедрением интрузий траппов и в меньшей мере – с процессами кимберлитового магматизма; в) в направлении с юга и юго-востока на север и северо-запад геохимическая изменчивость пород раннего палеозоя связана с закономерными дифференциациями осадочного материала по латерали и является отра-

жением единой вещественной дифференциации и геохимической упорядоченности (зональности) осадочного процесса.

Каменноугольные отложения в основных алмазоносных районах Сибирской платформы (МБАР) представлены *лапчанской свитой среднего–верхнего отдела* (хотя ряд исследователей относят их к нижней перми), сложенной алевролитами с прослоями песков, дресвяно-гравийными отложениями, представляющими собой продукты переотложения позднедевонской–раннекаменноугольной КВ. Вариации минерального состава свиты определяют изменение и геохимических характеристик, хотя в целом для описываемых отложений характерно относительно равномерное распределение содержаний Ni, Co, V, Mn, Ti, Cu, Zn и Pb [35]. Нижняя часть свиты геохимически выделяется по повышенным содержаниям Ga при минимальных количествах B. Вверх по разрезу происходит рост концентраций Ni, Co, V, Mn, Cu, Pb и B, который сопровождается уменьшением количества Ti и Zn [37]. На более северных территориях (ДААР) аналогичные образования соответствующего возраста отмечены в конекской и айхальской свитах. Микроэлементные параметры возрастных и фациальных горизонтов этих свит являются следствием близости состава породообразующего материала и указывают на то, что на всём протяжении формирования лапчанских осадков существовали похожие по составу области питания.

Пермские осадочные толщи в исследуемых алмазоносных районах представлены породами ботубинской (P_{1bt}), ахтарандинской (P_{1atr}) и боруллойской (P_{2br}) свит. *Ботубинская свита* пользуется широким распространением на всей территории центральной и западной частей региона. На востоке площади осадки свиты выклиниваются в области поднятий, протягивающихся в меридиальном направлении по простиранию Виллойско-Мархинской зоны глубинных разломов. Свита залегает с глубоким размывом и небольшим угловым несогласием на породах карбонатного цоколя. На лапчанских образованиях породы свиты имеют границы нечёткого размыва местного характера. Разрез свиты представлен чередованием песчаников и алевролитов с подчинёнными прослоями гравийно-галечного материала, аргиллитов, а иногда и углей. По отношению к породам раннего палеозоя осадки свиты в целом отличаются специализацией на Co, Cu и Nb,

достаточно сопоставимой с таковой для подстилающих карбонатных образований, но с переходом Ва в область фоновых значений. Характерен высокий уровень содержания Си. Для свиты выделены две основные ассоциации химических элементов [9, 12, 18, 37]: лито-халькофильная (V–Pb–Cu–Sn–Li–P), литофильная (Yb–Zr–Ga–Y–Sc). *Ахтарандинская свита* пользуется широким распространением на исследуемой территории и участвует в формировании современных ландшафтов в виде полос в пределах Батырской и Вилюйско-Ахтарандинской структурно-седиментационных зон. По уровню содержания химических элементов отложения свиты характеризуются проявлением Си-Со ассоциации. Роль Nb, типичного для подстилающих осадков, заметно снижается здесь при доминировании ассоциации Zr–Sn–Mo–Pb–Li–Nb. *Боруллойдская свита* отличается бóльшим распространением, чем осадки ахтарандинской свиты, и представлена разнородными, слабосцементированными песчаниками с линзами и прослоями гравелитов и конгломератов. Геохимическая специализация пород боруллойдской свиты определена как Си-Со, сопоставимая с подстилающими образованиями раннепермского возраста, но отличающаяся наличием трёх ведущих микроэлементных ассоциаций [52]: сидеро-халькофильной (Co–Ni–Z–Sn–Yb–Ag), лито-халькофильной (Zn–Pb–Cu–V–Ti) и литофильной (Nb–P–Cr–Ga–Y–Sc).

Нижний отдел *триасовой системы* на описываемой территории Сибирской платформы представлен [5, 19] туфогенно-осадочными отложениями, в пределах МБАР – образованиями корвунчанской свиты, а на восточной границе, обрамляющей центральное лавовое плато Тунгусской синеклизы, – отложениями чичиканской свиты. Геохимические особенности этих образований обнаруживают весьма чёткие закономерные связи с интрузивными образованиями трапповой формации, генетически отражая своё происхождение. Отмечается, что интенсивность проявления в интрузивных долеритах и эффузивных образованиях (туфах и туфогенных образованиях) таких химических элементов, как V, Ti, Cu, Zn, Mo, Sn, Sb и Ba, является постоянной [37]. По отношению к долеритам в туфах фиксируется более низкий (в 2–3 раза) уровень содержания Ni, Cr, Co, Nb, Zr и Ag. Анализ корреляционных связей малых элементов обнаруживает образование нескольких парагенетических ассоциаций: Li–Ag–Ba, Sc–Cr–

Ni–Ga, Ti–Nb, V–Ni–Sn, Cr–Ga, Co–Ni, Cu–Ni, Cu–Nb и Sr–Mo. Статистические исследования установили высокий уровень дисперсии содержания таких элементов, как V, Cr, Sr, Sc, Mn, Ni и Zn. По отношению к подстилающим их породам позднего палеозоя туфогенные разности раннетриасового возраста отличаются более высокими содержаниями практически всех химических элементов, за исключением V и Cr, средние концентрации которых близки.

Мезозойские отложения (юрские) пользуются широким распространением на южной, юго-восточной и восточной частях Вилюй-Марха-Моркокинского междуречья. Породы этого возраста с резко выраженным размывом залегают на образованиях раннего и позднего палеозоя, туфогенных образованиях и покровах траппов раннего триаса. В разрезе отложений раннемезозойского комплекса различными исследователями выделены [19] иреляхская и дягтярская свиты рэт-геттанга, укугутская и оруктахская свиты раннего лейаса, породы плинсбахского и тоарского ярусов, широко развитые в восточных и юго-восточных частях описываемой территории. *Иреляхская свита* выделена на примере изучения МБАР, где эти отложения с размывом залегают на терригенно-карбонатных породах раннего палеозоя, выполняя понижения юрского рельефа. Представлена свита преимущественно осадками озёрно-болотных фаций, и специфическим её отличием является наличие в разрезе большого количества переотложенного материала древних КВ (в том числе и кимберлитовых пород) с образованием погребённых россыпей алмазов раннемезозойского возраста. Возрастным аналогом иреляхской свиты в СМАР выступает *дягтярская свита*, отличием которой является генетическая принадлежность к осадкам эрозионно-карстового происхождения, также обогащённым материалами переотложенных КВ. Отложения *укугутской свиты* широко распространены в юго-восточной и восточной частях описываемого региона, где она сложена разнородными глинистыми песками, алевролитами, прослоями гравийно-галечного материала и характеризуются наличием большого количества углефицированного детрита. *Оруктахская свита* ранней юры пространственно со вмещена с полями распространения укугутских образований и сложена конгломератами, гравелитами, песками с прослоями глинисто-алевроитовых, углистых и слюдястых пород. Вариации

в смене химических элементов в отмеченных мезозойских отложениях связаны с особенностями состава размываемых областей и наличия в осадочных толщах глинистой составляющей. Отложения рэт-геттанга характеризуются проявлением максимумов таких элементов, как Si, Ti, Al и Na, что предопределяет возрастание содержания Ti, Ni, Cu, Pb, Zn, Nb, V, Li, Ag при более низких количествах Cr и P. Конгломераты укугутского возраста отличаются более высоким уровнем значений Co, Mn, Mo, близкими с иреляхскими содержаниями V, Sn, P и Li. При этом отмечается уменьшение количеств Ni, Ti, Cu, Pb, Zn, P и V. Изменение содержаний микроэлементов наблюдается и в более поздних конгломератах ранней юры, в которых отмечено снижение вверх по разрезу концентраций V, Cu, Pb, Mo, Li и Ag с одновременным увеличением роли Cr, Ti, Ga, в меньшей мере Sn и P. Сравнение содержаний химических элементов в сцементированных глинисто-карбонатной массой конгломератах, гравелитах и рыхлых песчано-гравийно-галечных породах также выявляет неравномерное распределение в них Ni, Co, V, Mn, Ti, Cu, Zn. Концентрации Cr, Pb, Ga, Mo, Sn, V и P незначительны. При уменьшении размерности в грубообломочных породах более мелкого псаммо-алевро-пелитового материала происходит нивелирование (при общем возрастании значений) количеств Ni, Cr, Co и заметное увеличение роли Ti, Zn и V [37]. Судя по своеобразным рядам подвижных химических элементов в песчаных, алевритовых и глинистых породах, существенно отличающихся по целому ряду малых элементов, на протяжении всего мезозойского времени происходило неоднократное изменение состава поступающего в бассейны седиментации материала различных типов кор выветривания. Более древние пелитовые породы рэт-геттанга, образующиеся в условиях интенсивного химического выветривания, отличаются максимумами накопления Cr, Ni, Co, V, Mn, Ti, Cu, Ge, Zn, Y, Nb и В. Это обусловлено интенсивностью указанных гипергенных процессов и разнообразием материала, поступавшего в бассейны седиментации. Глинистые образования укугутской свиты, отличаясь минимальными, по сравнению с более древними аналогами, характеризуются близкими количествами Pb, Ga, Mo, Sn и Li, но содержат больше свинца и серебра.

Меловые отложения наиболее детально изучены на северо-восточном фланге СП, где в преде-

лах Анабаро-Эбеляхского междуречья эти толщи сохранились в качестве реликтовых образований, выполняющих погребённые палеодепрессии карстового типа позднекембрийского рельефа. Выявлены эти отложения в виде небольших разрозненных проявлений, основная часть которых приурочена к центральной части территории вдоль левого берега среднего течения р. Эбелях. Представлены отложения глинами (нередко песчанистыми или алевритовыми), песками, а иногда галечниками и гравелитами. Установлено наличие химических неоднородностей в вертикальном разрезе меловых отложений, от подстилающих остаточных древних кор выветривания до кровли пластов. Выделяется положение геохимического барьера в основании мела, испытывающего непосредственное влияние КВ, в составе которых происходит интенсивное накопление окислов Ti, Al, K, Na, Si, окисного и закисного Fe, Mn и P, при одновременном выносе прочих оксидов. На границе КВ с алевритовой толщей накопительные свойства обнаруживают Si, Al, Fe³⁺, Mn, K, Na, P, а содержание остальных оксидов уменьшается. Геохимическая цикличность внутренних барьеров с проявлением привноса-выноса легко растворимых или малоподвижных элементов указывает на интенсивность развития эпигенетических процессов, активность которых и предопределяет общую петрогеохимическую неоднородность разреза. Ниже предела чувствительности полуколичественного спектрального анализа находится группа элементов типа As, Sb, Bi, Ti, Hg, Cs, Rb, Cd, не зафиксированных при геохимическом изучении пород мела [37]. Выделяется группа элементов, частота встречаемости значимых содержаний которых ниже 50%: Li, Be, Sc, La, Yb и W. Эта группа элементов выступает как заведомо аномальная, указывающая на привнос экзотического пороодообразующего материала в периоды накопления меловых отложений. Спектр участвующих аномальных элементов генетически увязывается с составом продуктов выветривания щелочно-ультраосновных пород, несущих в себе повышенные концентрации редких и редкоземельных элементов. Уровень их содержаний в разрезе мела явно повышенный и обуславливает соответствующее возрастание значений параметров местного геохимического фона. Особый интерес занимает группа элементов (V, P, Cr, Co, Zn, Ga, Ge, Y, Nb, Ag и Sn), вариации содержания которых и высокая степень дисперсии являются

свидетельством изменчивости местных условий осадконакопления, отражают специфику литологической неоднородности и особенности проявления эпигенетических изменений состава в результате наложенных вторичных процессов [37]. В качестве элементов характерных для меловых отложений выделены Yb, La, Sc, Ti, Zn, Nb, Be, Y, Ag и W.

Четвертичные отложения пользуются широким распространением на описываемой территории и представлены двумя доминирующими генетическими комплексами: а) надпойменных террас, развитым в основном по водотокам первого и второго порядков; б) русловых и пойменных, а также озёрно-болотных образований. Четвертичные отложения во всех алмазоносных районах выступают в роли определяющей системы формирования современных ландшафтов, и их характеристика рассматривается в неразрывной связи с особенностями состава почвенно-растительного покрова. Эти образования и продукты их дезинтеграции являются основным поставщиком современного аллювиального осадкообразования, определяющего конкретные специфические отличия донных осадков. В целом четвертичные (в том числе неоген-четвертичные) отложения заметно выделяются повышенными концентрациями ряда геохимических элементов [37]: Be, Sc, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, Y, Nb, Ag, La, W и Pb. Наиболее контрастные геохимические черты присущи современным разногенетическим группам пород. По отношению к параметрам регионального фона современные осадки несут в себе заметно более высокие концентрации Li, Be, B, Sc, V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Ge, Y, Nb, Mo, Ag, La и Pb. Обобщающий ряд геохимической специализации осадков алмазоносных районов СП получен путём осреднения коэффициентов аномальности химических элементов с учётом значений их кларка концентрации для всего разреза неоген-четвертичных, четвертичных и современных отложений и имеет следующий вид: Zn–Co–Be–Ag–W–Cu–Y–Sc, Mn–La–Ni–Nb–Pb. Соответственно определяется и высокая степень участия данных элементов в формировании суммарного геохимического фона современных эко-геохимических систем алмазоносных районов.

Заключение. Таким образом, проведённые исследования подчёркивают, что для решения поставленных поисково-геохимических задач достаточно в массовом количестве использовать

традиционные методики определения химического состава как породообразующих, так и малых элементов. Определение редких элементов обычно позволяет получить существенную и интересную информацию о геохимических особенностях кимберлитов, магматитов и их индикаторных минералов (ИМК), а также других пород в алмазоносных регионах. Кроме изучения геохимии магматических и осадочных пород в алмазоносных регионах Сибирской и Восточно-Европейской платформ детально изучены геохимические составы минералов из 11 кимберлитовых трубок более чем на 40 элементов. Из трубки Удачная изучены три выборки ИМК, представляющие перидотиты, эклогиты и пироксениты. Наибольшее разнообразие спектров составов минералов обнаруживают перидотиты. Среди минералов выделяются клинопироксены, которым свойственно обогащение литофилами (LILE) и лёгкими редкими землями. Необходимо отметить, что анализ сканированием мелкозернистой основной массы кимберлитовых пород даёт некоторые преимущества, поскольку позволяет избежать влияния мега- и ксенокристов. Сравнение микроэлементного состава кимберлитов различной продуктивности, включая распределение редкоземельных элементов, показывает сходство спектров поведения лёгких редкоземельных элементов и различия по размаху концентраций тяжёлых редкоземельных элементов в промышленно алмазоносных кимберлитовых телах (Нюрбинская, Юбилейная и др.). Несколько отличается спайдерграмма кимберлитов трубки Зарница по положому распределению лёгких РЗЭ (Eu, Gd, Dy, Ho, Y, Er, Yb, Lu). Заметно «отскакивают» по снижению концентраций Rb, Th, U, Nb, Ta, Pb и других элементов породы из некоторых трубок Анабарской группы (аномалии 17/1, 71/63 и др.), а по увеличению Ba и Pb – аномалии 70/89. В целом можно отметить более пологие спектры распределения элементов в породах трубок Прианабарья по сравнению с кимберлитовыми телами промышленно алмазоносных районов. И ещё одна тенденция – серпентинизированные кимберлиты обеднены LILE-элементами. В ИМК распределение редких и редкоземельных элементов обнаруживает различные тенденции, что можно наблюдать на примере перидотитовых минералов из кимберлитовой трубки Удачная. Так, в моноклинных пироксенах распределение имеет обычно пологий характер спектров, а спектры для гранатов и других

минералов характеризуются заметным размахом концентраций элементов, хотя в отдельных образцах могут проявляться обратные тенденции. Чаще пологие S-образные REE спектры характеризуют клинопироксены и гранаты из деформированных истощённых перидотитов (обр. UD-3), при слабом обогащении U и Sr минимумы Zr более выражены для граната, левая часть мультикомпонентного спектра почти плоская. В клинопироксенах часто фиксируется небольшое обогащение литофилами и лёгкими редкими землями. В спектре клинопироксена из порфиро-кластического перидотита UD-11 наблюдаются пики повышенных значений U, Ta и Nb. Клиннопироксенам из лерцолитов на REE диаграмме свойственны спектры с одновременным уменьшением La/Yb_n и общим повышением уровня редких элементов. С уровнем редких земель коррелируют также минимум по концентрации Ba и небольшой пик Sr. У гранатов заметны положительные пики Pb и U. Поведение индикатор-

ных несовместимых редких элементов (REE, Y, Nb, Hf, Zr, Ti) в гранатах и клинопироксенах из деформированных лерцолитов (астеносферное вещество) и из литосферных метасоматитов реакционного С-типа отражает геохимические различия мантийного метасоматизма в верхней части астеносферы и в низах литосферы и указывает на их возможную связь с единым глубинным источником. Различия в характере строения, минералогии и геохимии некоторых кимберлитовых трубок позволяют предположить, что в мантийной литосфере (даже в пределах куста трубок) могли существовать неоднородности и локальные зоны метасоматоза и просачивания. Существенные различия геохимического облика кимберлитов от аналогичных характеристик других типов магматических, вулканогенно-осадочных и осадочных пород подтверждают перспективность минералого-геохимического метода поисков алмазных месторождений на различных платформах мира.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Афанасьев В. П., Зинчук Н. Н., Коптиль В. И.* Полигенез алмазов в связи с проблемой коренных россыпей северо-востока Сибирской платформы // Доклады Академии наук. – 1998. – Т. 361, № 3. – С. 366–369.
2. *Афанасьев В. П., Зинчук Н. Н., Логвинова А. Н.* Особенности распределения россыпных алмазов, связанных с докембрийскими источниками // Записки Российского минералогического общества. – 2009. – Т. 138, № 2. – С. 1–13.
3. *Афанасьев В. П., Похиленко Н. П., Логвинова А. М., Зинчук Н. Н., Ефимова Э. С., Сафьянников В. И., Красавчиков В. О., Подгорных М. М., Пругов В. П.* Особенности морфологии и состава некоторых хромшпинелидов алмазоносных площадей в связи с проблемой «ложных» индикаторов кимберлитов // Геология и геофизика. – 2000. – Т. 41, № 12. – С. 1729–1741.
4. *Бардухинов Л. Д., Зинчук Н. Н.* Алмазы из древних осадочных толщ и их поставщики (на примере Якутской кимберлитовой провинции) // Руды и металлы. – 2022. – № 2. – С. 65–86.
5. *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 государственного университета. Геология. – 2000. – № 3(9). – С. 37–55.
6. *Василенко В. Б., Кузнецова Л. Г., Зинчук Н. Н.* Петрохимическая фактография кимберлитовой провинции Восточной Сибири. – Новосибирск : Параллель, 2019. – 754 с.
7. *Егоров К. Н., Зинчук Н. Н., Мишенин С. Г., Серов В. П., Секерин А. П., Галенко В. П., Денисенко Е. П., Барышев А. С., Меньшагин Ю. В., Кошкарев Д. А.* Перспективы коренной и россыпной алмазоносности Юго-Западной части Сибирской платформы // Геологические аспекты минерально-сырьевой базы Акционерной компании «АЛРОСА»: современное состояние, перспективы, решения. Дополнит. мат-лы по итогам региональной научно-практической конференции «Актуальные проблемы геологической отрасли АК «АЛРОСА» и научно-методическое обеспечение их решений», посвященной 35-летию ЯНИГП ЦНИГРИ АК «АЛРОСА». – Мирный : МГТ, 2003. – С. 50–84.
8. *Зинчук Н. Н.* Влияние вторичных минералов на облик и состав кимберлитовых пород // Геология и геофизика. – 1998. – Т. 39, № 12. – С. 1704–1715.
9. *Зинчук Н. Н.* Геологические исследования при поисках алмазных месторождений // Вестник

- Воронежского университета. Геология. – 2021. – № 4. – С. 35–52.
10. *Зинчук Н. Н.* Докембрийские источники алмазов в россыпях фанерозоя // Вестник Воронежского университета. Геология. – 2021. – № 3. – С. 50–61.
 11. *Зинчук Н. Н.* Коры выветривания и их роль в формировании посткимберлитовых осадочных толщ // Руды и металлы. – 2022. – № 2. – С. 100–120.
 12. *Зинчук Н. Н.* Кремнистые минералы в кимберлитах // Вестник Воронежского университета. Геология. – 2022. – № 4. – С. 38–52.
 13. *Зинчук Н. Н.* О специфике глинистых минералов в осадочных формациях // Вестник Пермского университета. Геология. – 2022. – № 1. – С. 10–23.
 14. *Зинчук Н. Н.* Об основных источниках глинистых минералов в мезозойских континентальных алмазоносных отложениях Западной Якутии // Геология и геофизика. – 1982. – № 8. – С. 81–90.
 15. *Зинчук Н. Н.* Особенности минералов слюд в кимберлитах // Вестник Воронежского университета. Геология. – 2018. – № 2. – С. 29–39.
 16. *Зинчук Н. Н.* Особенности петрографического изучения кимберлитовых пород // Отечественная геология. – 2022. – № 4. – С. 34–49.
 17. *Зинчук Н. Н.* Особенности состава и распределения слюдястых образований в кимберлитовых породах Якутии // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. – 1991. – № 7. – С. 58–66.
 18. *Зинчук Н. Н.* Роль петролого-минералогических и геохимических исследований в оценке потенциальной алмазоносности кимберлитов // Отечественная геология. – 2022. – № 1. – С. 36–47.
 19. *Зинчук Н. Н.* Состав и генезис глинистых минералов в верхнепалеозойских осадочных толщах восточного борта Тунгусской синеклизы // Геология и геофизика. – 1981. – № 8. – С. 22–29.
 20. *Зинчук Н. Н.* Типоморфные свойства индикаторных минералов кимберлитов и их использование при прогнозировании месторождений алмаза на Сибирской платформе // Отечественная геология. – 2021. – № 2. – С. 41–56.
 21. *Зинчук Н. Н., Афанасьев В. П.* Генетические типы и основные закономерности формирования алмазоносных россыпей // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. – 1998. – № 2. – С. 66–71.
 22. *Зинчук Н. Н., Бардухинов Л. Д.* Алмазы из низкопродуктивных кимберлитов // Руды и металлы. – 2022. – № 1. – С. 77–93.
 23. *Зинчук Н. Н., Бардухинов Л. Д.* Алмазы из полупромышленных кимберлитов // Вестник Воронежского университета. Геология. – 2022. – № 2. – С. 32–45.
 24. *Зинчук Н. Н., Борис Е. И.* О концентрации продуктов переотложения кор выветривания в верхнепалеозойских осадочных толщах восточного борта Тунгусской синеклизы // Геология и геофизика. – 1981. – № 8. – С. 22–29.
 25. *Зинчук Н. Н., Бардухинов Л. Д.* О специфике докембрийских источников алмазов в россыпях // Вестник Пермского университета. Геология. – 2022. – Т. 21, № 2. – С. 149–166.
 26. *Зинчук Н. Н., Бардухинов Л. Д.* О специфике изучения алмаза при прогнозно-поисковых работах (на примере Сибирской платформы) // Руды и металлы. – 2021. – № 3. – С. 59–75.
 27. *Зинчук Н. Н., Зуев В. М., Коптиль В. И., Чёрный С. Д.* Стратегия ведения и результаты алмазопроисковых работ // Горный вестник. – 1997. – № 3. – С. 53–57.
 28. *Зинчук Н. Н., Мельник Ю. М., Серенко В. П.* Апокимберлитовые породы // Геология и геофизика. – 1987. – № 10. – С. 66–72.
 29. *Кедрова Т. В., Богуш И. Н., Зинчук Н. Н., Бардухинов Л. Д., Липашова А. Н., Афанасьев В. П.* Россыпи алмазов Накынского кимберлитового поля // Геология и геофизика. 2022. – Т. 63, № 3. – С. 291–302.
 30. *Котельников Д. Д., Зинчук Н. Н.* Об аномалии общей схемы преобразования разбухающих глинистых минералов при погружении содержащих их отложений в стратисферу // Вестник Воронежского государственного университета. Серия геология. – 2003. – № 2. – С. 57–68.
 31. *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.
 32. *Котельников Д. Д., Зинчук Н. Н.* Типоморфные особенности и палеогеографическое значение слюдястых минералов // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. – 1996. – № 1. – С. 53–61.
 33. *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.
 34. *Толстов А. В., Зинчук Н. Н.* Вклад Алмазной лаборатории ЦНИГРИ в научную кладовую Якутии // Руды и металлы. – 2022. – № 2. – С. 25–35.
 35. *Харьков А. Д., Зуенко В. В., Зинчук Н. Н., Крючков А. И., Уханов А. В., Богатых М. М.* Петрохимия кимберлитов. – М. : Недра, 1991. – 304 с.
 36. *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.
 37. *Ягнышев Б. С., Зинчук Н. Н., Тимченко В. А., Хмелевский В. А.* Основные черты геохимии осадочных мезозойских образований Мало-Ботуобинского района (Западная Якутия). – М. : ВИНТИ, 1976. – 32 с.

38. Ягнышев Б. С., Ягнышева Т. А., Зинчук М. Н., Легостаева Я. Б. Экология Западной Якутии (геохимия геосистем: состояние и проблемы). – Якутск: ЯНЦ СО РАН. – 2005. – 432 с.
39. Grachanov S. A., Zinchuk N. N., Sobolev N. V. The age of Predictable primary diamond sources in the Northeastern Siberian platform // *Doklady Earth Sciences*. – 2015. – V. 465, № 2. – P. 1297–1301.
40. Serov I. V., Garanin V. K., Zinchuk N. N., Rotman A. Ya. Mantle Sources of the kimberlite Volcanism of the Siberian Platform // *Petrology*. – 2001. – V. 9, № 6. – P. 576–588.
41. Vasilenko V. B., Kuznetsova L. G., Volkova N. I. et al. Diamond potential estimation based on Kimberlite major element chemistry // *Jornal of Geochemical Exploration*. – 2002. – V. 76, № 2. – P. 93–112.

REFERENCES

1. Afanas'yev V. P., Zinchuk N. N., Koptil' V. I. Polygenез алмазов в связи с проблемой коренных россыпей северо-востока Сибирской платформы [Polygenesis of diamonds in connection with the problem of bedrock placers in the northeast of the Siberian Platform], *Doklady Akademii nauk*, 1998, V. 361, No. 3, pp. 366–369. (In Russ.)
2. Afanas'yev V. P., Zinchuk N. N., Loginova A. N. Osobennosti raspredeleniya rossypnykh алмазов, svyazannykh s dokembriyskimi istochnikami [Features of the distribution of alluvial diamonds associated with Precambrian sources]. *Zapiski Rossiyskogo mineralogicheskogo obshchestva*, 2009, V. 138, No. 2, pp. 1–13. (In Russ.)
3. Afanas'yev V. P., Pokhilenko N. P., Logvinova A. M., Zinchuk N. N., Yefimova E. S., Saf'yannikov V. I., Krasavchikov V. O., Podgornyykh M. M., Prugov V. P. Osobennosti morfologii i sostava nekotorykh khromshpinelidov алмазосных полей в связи с проблемой "ложных" индикаторов кимберлитов [Features of the morphology and composition of some chrome-spinels of diamond-bearing areas in connection with the problem of "false" indicators of kimberlites]. *Geologiya i geofizika*, 2000, V. 41, No. 12, pp. 1729–1741. (In Russ.)
4. Bardukhinov L. D., Zinchuk N. N. Almazы из древних осадочных толщ и их поставщики (на примере Якутской кимберлитовой провинции) [Diamonds from ancient sedimentary strata and their suppliers (on the example of the Yakut kimberlite province)], *Rudy i metally*, 2022, No. 2, pp. 65–86. (In Russ.)
5. Vasilenko V. B., Zinchuk N. N., Kuznetsova L. G. Geodinamicheskiy kontrol' razmeshcheniya kимберлитовых полей tsentral'noy i severnoy chastey Якутской кимберлитовой провинции (петрохимический аспект) [Geodynamic control of the location of kimberlite fields in the central and northern parts of the Yakut kimberlite province (petrochemical aspect)]. *Vestnik Voronezhskogo gosuniversiteta. Geologiya*, 2000, No. 3(9), pp. 37–55. (In Russ.)
6. Vasilenko V. B., Kuznetsova L. G., Zinchuk N. N. Petrokhimicheskaya faktografiya kимберлитовой провинции Vostochnoy Sibiri [Petrochemical factography of the kimberlite province of Eastern Siberia], *Novosibirsk, Parallel' publ.*, 2019, 754 p. (In Russ.)
7. Yegorov K. N., Zinchuk N. N., Mishenin S. G., Serov V. P., Sekerin A. P., Galenko V. P., Denisenko Ye. P., Baryshev A. S., Men'shagin Yu. V., Koshkarev D. A. Perspektivy korennoy i rossypnoy алмазосности Yugo-Zapadnoy chasti Sibirskoy платформы [Prospects for bedrock and alluvial diamond content in the Southwestern part of the Siberian platform]. Additional materials based on the results of the regional scientific and practical conference "Actual problems of the geological industry of AK ALROSA and scientific and methodological support for their solutions", dedicated to the 35th anniversary of YANIGP TsNIGRI AK ALROSA, *Mirnyy, MGT publ.*, 2003, pp. 50–84. (In Russ.)
8. Zinchuk N. N. Vliyaniye vtorichnykh mineralov na oblik i sostav kимберлитовых пород [Influence of secondary minerals on the appearance and composition of kimberlite rocks]. *Geologiya i geofizika*, 1998, V. 39, No. 12, pp. 1704–1715. (In Russ.)
9. Zinchuk N. N. Geologicheskiye issledovaniya pri poiskakh алмазных месторождений [Geological research in the search for diamond deposits]. *Vestnik Voronezhskogo universiteta. Geologiya*, 2021, No. 4, pp. 35–52. (In Russ.)
10. Zinchuk N. N. Dokembriyskiye istochniki алмазов в россыпях фанерозоя [Precambrian sources of diamonds in Phanerozoic placers]. *Vestnik Voronezhskogo un-ta. Geologiya*, 2021, No. 3, pp. 50–61. (In Russ.)
11. Zinchuk N. N. Kory vyvetrivaniya i ikh rol' v formirovaniі postkimberлитовых осадочных толщ [Weathering crusts and their role in the formation of post-kimberlite sedimentary strata], *Rudy i metally*, 2022, No. 2, pp. 100–120. (In Russ.)
12. Zinchuk N. N. Kremnistyye mineraly v kимберлитakh [Siliceous minerals in kimberlites], *Vestnik Voronezhskogo universiteta. Geologiya*, 2022, No. 4, pp. 38–52. (In Russ.)

13. *Zinchuk N. N.* O spetsifike glinistykh mineralov v osadochnykh formatsiyakh [On the specificity of clay minerals in sedimentary formations], *Vestnik Permskogo universiteta. Geologiya*, 2022, No. 1, pp. 10–23. (In Russ.)
14. *Zinchuk N. N.* Ob osnovnykh istochnikakh glinistykh mineralov v mezozoyskikh kontinental'nykh almazonosnykh otlozheniyakh Zapadnoy Yakutii [On the main sources of clay minerals in the Mesozoic continental diamondiferous deposits of Western Yakutia]. *Geologiya i geofizika*, 1982, No. 8, pp. 81–90. (In Russ.)
15. *Zinchuk N. N.* Osobennosti mineralov slyud v kimberlitakh [Features of micas minerals in kimberlites]. *Vestnik Voronezhskogo universiteta. Geologiya*, 2018, No. 2, pp. 29–39. (In Russ.)
16. *Zinchuk N. N.* Osobennosti petrograficheskogo izucheniya kimberlitovykh porod [Peculiarities of petrographic study of kimberlite rocks], *Otechestvennaya geologiya*. 2022, No. 4, pp. 34–49. (In Russ.)
17. *Zinchuk N. N.* Osobennosti sostava i raspredeleniya slyudistykh obrazovaniy v kimberlitovykh porodakh Yakutii [Peculiarities of composition and distribution of micaceous formations in kimberlite rocks of Yakutia]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Geologiya i razvedka*, 1991, No. 7, pp. 58–66. (In Russ.)
18. *Zinchuk N. N.* Rol' petrologo-mineralogicheskikh i geokhimicheskikh issledovaniy v otsenke potentsial'noy almazonosnosti kimberlitov [The role of petrological, mineralogical and geochemical studies in assessing the potential diamond content of kimberlites]. *Otechestvennaya geologiya*, 2022, No. 1, pp. 36–47. (In Russ.)
19. *Zinchuk N. N.* Sostav i genezis glinistykh mineralov v verkhnepaleozoyskikh osadochnykh tolshchakh vostochnogo borta Tungusskoy sineklizy [The composition and genesis of clay minerals in the Upper Paleozoic sedimentary sequences of the eastern side of the Tunguska syncline]. *Geologiya i geofizika*, 1981, No. 8, pp. 22–29. (In Russ.)
20. *Zinchuk N. N.* Tipomorfnyye svoystva indikatornykh mineralov kimberlitov i ikh ispol'zovaniye pri prognozirovanii mestorozhdeniy almaza na Sibirskoy platforme [Typomorphic properties of kimberlite indicator minerals and their use in predicting diamond deposits on the Siberian platform]. *Otechestvennaya geologiya*, 2021, No. 2, pp. 41–56. (In Russ.)
21. *Zinchuk N. N., Afanas'yev V. P.* Geneticheskiye tipy i osnovnyye zakonomernosti formirovaniya almazonosnykh rosspyey [Genetic types and main patterns of formation of diamond placers]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Geologiya i razvedka*, 1998, No. 2, pp. 66–71. (In Russ.)
22. *Zinchuk N. N., Bardukhinov L. D.* Almazy iz nizkoproduktivnykh kimberlitov [Diamonds from low-yielding kimberlites], *Rudy i metally*, 2022, No. 1, pp. 77–93. (In Russ.)
23. *Zinchuk N. N., Bardukhinov L. D.* Almazy iz polupromyshlennykh kimberlitov [Diamonds from semi-industrial kimberlites]. *Vestnik Voronezhskogo un-ta. Geologiya*, 2022, No. 2, pp. 32–45. (In Russ.)
24. *Zinchuk N. N., Bardukhinov L. D.* O spetsifike dokembriyskikh istochnikov almazov v rosspyyakh [On the specifics of Precambrian sources of diamonds in placers]. *Vestnik Permskogo un-ta. Geologiya*, 2022, V. 21, No. 2, pp. 149–166. (In Russ.)
25. *Zinchuk N. N., Bardukhinov L. D.* O spetsifike izucheniya almaza pri prognozno-poiskovykh rabotakh (na primere Sibirskoy platformy) [On the specifics of the study of diamond during predictive and prospecting work (on the example of the Siberian platform)]. *Rudy i metally*, 2021, No. 3, pp. 59–75. (In Russ.)
26. *Zinchuk N. N., Boris Ye. I.* O kontsentratsii produktov pereotlozheniya kor vyvetrivaniya v verkhnepaleozoyskikh osadochnykh tolshchakh vostochnogo borta Tungusskoy sineklizy [On the concentration of weathering crust redeposition products in the Upper Paleozoic sedimentary strata of the eastern side of the Tunguska syncline]. *Geologiya i geofizika*, 1981, No. 8, pp. 22–29. (In Russ.)
27. *Zinchuk N. N., Zuyev V. M., Koptil' V. I., Chornyy S. D.* Strategiya vedeniya i rezul'taty almazoposkovykh rabot [The strategy of conducting and results of diamond prospecting]. *Gornyy vestnik*, 1997, No. 3, pp. 53–57. (In Russ.)
28. *Zinchuk N. N., Mel'nik Yu. M., Serenko V. P.* Apokimberlitovyye porodny [Apokimberlite rocks]. *Geologiya i geofizika*, 1987, No. 10, pp. 66–72. (In Russ.)
29. *Kedrova T. V., Bogush I. N., Zinchuk N. N., Bardukhinov L. D., Lipashova A. N., Afanas'yev V. P.* Rossypi almazov Nakynskogo kimberlitovogo polya [Diamond placers of the Nakyn kimberlite field]. *Geologiya i geofizika*. 2022, V. 63, No. 3, pp. 291–302. (In Russ.)
30. *Kotel'nikov D. D., Zinchuk N. N.* Ob anomalii obschey skhemy preobrazovaniya razbukhayushchikh glinistykh mineralov pri pogruzhении soderzhashchikh ikh otlozheniy v stratisferu [On the anomaly of the general scheme of transformation of swelling clay minerals during the immersion of sediments containing them into the stratisphere]. *Vestnik Voronezhskogo gos-universiteta. Seriya geologiya*, 2003, No. 2, pp. 57–68. (In Russ.)
31. *Kotel'nikov D. D., Zinchuk N. N.* Osobennosti glinistykh mineralov v otlozheniyakh razlichnykh osadochnykh formatsiy [Peculiarities of clay minerals in deposits of various sedimentary formations]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Geologiya i razvedka*, 1997, No. 2, pp. 53–63. (In Russ.)
32. *Kotel'nikov D. D., Zinchuk N. N.* Tipomorfnyye osobennosti i paleogeograficheskoye znachenie slyudistykh mineralov [Typomorphic features and paleogeographical significance of micaceous minerals]. *Izves-*

- tiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Geologiya i razvedka, 1996, No. 1, pp. 53–61. (In Russ.)
33. *Kotel'nikov D. D., Zinchuk N. N.* Usloviya nakopleniya i postsedimentatsionnogo preobrazovaniya glinistykh mineralov v osadochnom chekhle zemnoy kory [Conditions of accumulation and post-sedimentary transformation of clay minerals in the sedimentary cover of the earth's crust]. Vestnik Voronezhskogo universiteta. Geologiya, 2001, No. 12, pp. 45–51. (In Russ.)
 34. *Tolstov A. V., Zinchuk N. N.* Vklad Almaznoy laboratoriyu TSNIGRI v nauchnyy kladovuyu Yakutii [The contribution of the TsNIGRI Diamond Laboratory to the scientific pantry of Yakutia], Rudy i metally, 2022, No. 2, pp. 25–35. (In Russ.)
 35. *Khar'kiv A.D., Zuyenko V.V., Zinchuk N.N., Kryuchkov A.I., Ukhanov A.V., Bogatykh M. M.* (In Russ.) Petrokhimiya kimberlitov [Petrochemistry of kimberlites]. Moscow, Nedra publ., 1991, 304 p. (In Russ.)
 36. *Khitrov V. G., Zinchuk N. N., Kotel'nikov D. D.* Primeneniye klaster-analiza dlya vyyasneniya zakonomernostey vyvetrivaniya porod razlichnogo sostava [Application of cluster analysis to elucidate the patterns of weathering of rocks of various compositions]. Doklady AN SSSR, 1987, V. 296, No. 5, pp. 1228–1233. (In Russ.)
 37. *Yagnyshev B. S., Zinchuk N. N., Timchenko V. A., Khmelevskiy V. A.* Osnovnyye cherty geokhimii osadochnykh mezozoyskikh obrazovaniy Malo-Botuobinskogo rayona (Zapadnaya Yakutiya) [The main features of the geochemistry of sedimentary Mesozoic formations of the Malo-Botuobinsky region (Western Yakutia)], Moscow, VINITI publ., 1976, 32 p. (In Russ.)
 38. *Yagnyshev B. S., Yagnysheva T. A., Zinchuk M. N., Legostayeva Ya. B.* Ekologiya Zapadnoy Yakutii (geokhimiya geoekosistem: sostoyaniye i problemy) [Ecology of Western Yakutia (geochemistry of geoecosystems: state and problems)]. Yakutsk, YANTS SO RAN publ., 2005, 432 p. (In Russ.)
 39. *Grachanov S. A., Zinchuk N. N., Sobolev N. V.* The age of Predictable primary diamond sources in the Northeastern Siberian platform. Doklady Earth Sciences, 2015, V. 465, No. 2, pp. 1297–1301.
 40. *Serov I. V., Garanin V. K., Zinchuk N. N., Rotman A. Ya.* Mantle Sources of the kimberlite Volcanism of the Siberian Platform. Petrology, 2001, V. 9, No. 6, pp. 576–588.
 41. *Vasilenko V. B., Kuznetsova L. G., Volkova N. I. et al.* Diamond potential estimation based on Kimberlite major element chemistry. Journal of Geochemical Exploration, 2002, V. 76, No. 2, pp. 93–112.

Статья поступила в редакцию 01.02.23; одобрена после рецензирования 15.02.23; принята к публикации 17.02.23.
The article was submitted 01.02.23; approved after reviewing 15.02.23; accepted for publication 17.02.23.

Алмазоносная литосфера Сибирской платформы (по геофизическим данным). Эредитарность докембрия, палеопротерозойский плюмовый магматизм, алмазоносность Анабарской тектонической провинции

В первой части статьи [15] приведены результаты анализа естественных структурных соотношений потенциальных полей и тектонического районирования Сибирской платформы (СП). Ниже показано отражение в геофизических полях эредитарности структурно-вещественных комплексов (СВК) докембрийского фундамента СП к палеопротерозойским мантийно-плюмовым событиям. Анализ атрибутов потенциальных полей как образов СВК глубокого докембрия позволил определить территорию максимального термально-мантийного воздействия на докембрийскую литосферу СП раннепротерозойского суперплюма, а также его предполагаемый центр в северо-западном сегменте СП. Пространственные особенности атрибутов, вскрывающие корреляционные отношения компонент потенциальных полей, способствовали уточнению положения системы ортогональных линейментов Сибирской платформы, в целом соответствующей их каркасу, по А. К. Башарину [3]. Опубликованные геолого-геофизические материалы, результаты обработки геофизических полей показали, что глубинное строение центральной части Анабарской тектонической провинции (АН) характеризуется параметрами, свойственными архейским алмазоносным кратонам, что указывает на наличие в её пределах алмазоносного литосферного корня. Юго-западный сегмент данной территории АН соответствует положению Ангаро-Виллюйского рудного пояса (АВРП) [2], что наряду с другими данными является основанием для продолжения рудного пояса в северо-восточном направлении, его естественного и очевидного признания в ранге Сибирской алмазоносной провинции. Перспективы выявления новых промышленно-алмазоносных кимберлитовых полей связаны с территорией АН провинции, положением алмазоносного литосферного корня, зонами глубинных корово-мантийных разломов в её пределах и на границах.

Ключевые слова: атрибут, деструкция, кимберлиты, литосфера, плюм, провинция, эредитарность.

МЯСНИКОВ ФЁДОР ВАСИЛЬЕВИЧ, кандидат геолого-минералогических наук, z_fedor49@mail.ru

Diamond-bearing lithosphere of the Siberian platform (based on geophysical data). Precambrian heredity, Paleoproterozoic plume magmatism, diamond content of the Anabar tectonic province

F. V. MYASNIKOV

In the first part of the article [15], we presented the results of the analysis of the structural relationship of prospective areas and tectonic zonation of the Siberian Platform (SP). Here we demonstrate the reflection of the heredity of structural-material complexes (SMC) of the Precambrian basement of the SP to the Paleoproterozoic mantle-plume events in the geophysical fields. The analysis of the attributes of the prospective areas, as images of the SMC of the deep Precambrian, made it possible to determine the area of maximum thermal-mantle impact on the SP Precambrian lithosphere of the Early Proterozoic superplume, as well as its presumed center in the northwestern segment of the SP. The spatial distribution of the attributes, revealing the correlation of the components with the prospecting areas, contributed to the refinement of the position of the system of orthogonal lineaments on the SP, in general, corresponding to the framework reported in Basharin's work [3]. The published geological and geophysical materials and the results of processing geophysical data showed that the deep structure of the central part of the Anabar tectonic province (AN) has the attributes characteristic of the Archean diamondiferous cratons. This can indicate the presence of a diamondiferous lithospheric root within AN. The southwestern segment of AN corresponds with the position of the Angara-Vilyui ore belt (AVRP) [2], which, along with other data, can allow us to extend the ore belt in the north-east direction, as well as recognize it in the rank of the Siberian diamond province. The prospects for the discovery of new industrial-diamond-bearing kimberlite fields are associated with the territory of the AN, the positions of the diamond-bearing lithospheric root, zones of deep crustal-mantle faults within it and its boundaries.

Key words: attribute, destruction, kimberlite, lithosphere, plume, province, heredity.

Введение. Изучению кимберлитового магматизма Сибирской платформы, выяснению закономерностей размещения алмазоносных трубок в её пределах посвящено множество исследований и публикаций. С использованием структурного метода и фрактального анализа, основываясь на тектоническом районировании СП, приведённом в первой части публикации [15], ниже охарактеризованы новые особенности глубинного строения литосферы Сибирской платформы, которые, по нашему мнению, недостаточно освещены в геолого-геофизических материалах и могут оказаться полезными при прогнозировании и поисках промышленно-алмазоносных кимберлитовых полей в Восточной Сибири¹.

Эредитарность пород докембрия, палеопротерозойский плюмовый магматизм на территории СП и его отражение в геофизических полях. Формулировка проблемы, задач обработки и анализа данных. На рис. 1, А представлена низкочастотная составляющая (радиус осреднения – 100 км) аномального магнитного поля, значения которой варьируют от -200 до 240 нТл, размах составляет 440 нТл, что указывает на значительную динамику компоненты и достоверность её пространственных линейных и нелинейных элементов. В соответствии с первой частью статьи [15] показаны положение границ тектонических провинций, а также сеть субмеридиональных и субширотных линеаментов по А. К. Башарину [3], которая дополнена южным субширотным и субмеридиональным (108° в. д.) линеаментом с корректировкой их размещения на основе полученных геофизических материалов (см. далее). Границы тектонических провинций близки к положению линеаментов, что согласуется с выводами А. К. Башарина о том, что современная структура Северо-Азиатского кратона, включая СП, представляет собой систему блоков, разделённых линеаменами, образованными в результате «коровой складчатости», долгоживущими и субортогонально ориентированными в пространстве [3]. В современном состоянии и границах СП Анабарская тектоническая провинция занимает централь-

ное положение, в её пределах расположены кимберлитовые поля с промышленно-алмазоносными трубками. Для провинции характерны существенно пониженные значения магнитного поля (см. рис. 1, А). При увеличении радиуса осреднения, когда глубина изучения оценивается в 100–300 км, границы провинции начинают размываться и включать в свой состав смежные территории; проступают контуры единого пространства сравнительно простого строения, которому свойственна пониженная намагниченность литосферы и в пределах которого находятся все известные кимберлитовые поля. Устанавливается общность сопредельных территорий, обрамляющих ядро Сибирской платформы. Для них характерны высокая намагниченность мантийной литосферы, блоковый характер и различная ориентировка аномалий поля.

Последние выводы дополняет пространственное распределение стандарта среднечастотной компоненты (разность значений поля при окнах осреднения 120×120 и 170×170 км) гравитационного поля на СП, рассчитанного в скользящем окне 120×120 км (см. рис. 1, Б). Очевидна низкая дифференцированность компоненты поля в пределах Анабарской тектонической провинции, что свойственно наблюдаемому гравитационному полю и его трансформантам.

Околонулевая изодинама на рис. 1, А образует локализованное пространство – крупную отрицательную аномалию, по форме напоминающую «ленивую» восьмёрку (между восьмёркой и лемниской – символом бесконечности). Ось аномалии, как и её границы, имеет северо-восточное простирание. Границы аномалии в целом совпадают с положением ортогональных линеаментов, а изгиб приурочен к центральному субширотному линеаменту, известному как Транссибирский. Особенностью аномалии является её асимметричность: западное крыло имеет значительные градиенты, восточное крыло более пологое. Наблюдается гармоничное сочетание внешних контуров пониженных значений магнитного поля, составляющих центральную часть как Анабарской тектонической провинции, так и всей Сибирской платформы относительно ортогональных линеаментов. Контрастным исключением является северо-западная часть АН провинции, область пересечения Таймыро-Байкальского и Северного линеаментов, которая на юге ограничивается Транссибирским линеаментом, а с востока –

¹ Характеристика использованных материалов и методов приведена в первой части статьи, повторные описания условных обозначений не приводятся; цветовая шкала, отражающая пространственную изменчивость различных атрибутов геологического пространства СП, соответствует легенде рельефа на физико-географических картах.

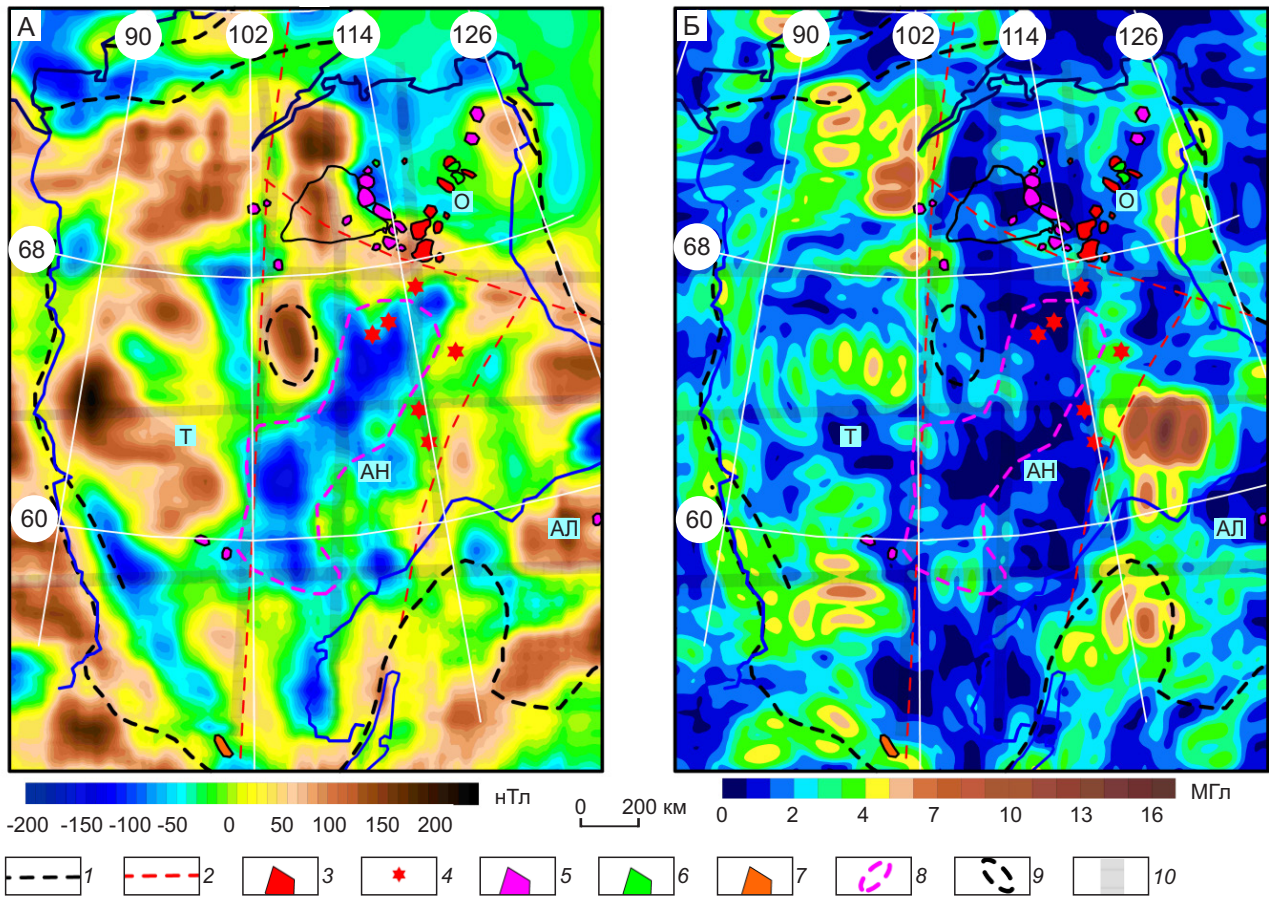


Рис. 1. Схематичные карты Сибирской платформы: сглаженной трендовой составляющей магнитного поля (А), изменчивости (стандартного отклонения) среднечастотной составляющей гравитационного поля (Б):

1 – краевые швы Сибирской платформы [6]; 2 – тектонические границы провинций [16]; 3–4 – кимберлитовые поля среднепалеозойские: 3 – непромышленно-алмазоносные, 4 – промышленно-алмазоносные; 5–7 – кимберлитовые поля: 5 – раннемезозойские, 6 – позднемезозойские, 7 – протерозойские; 8 – контур anomalно низких значений магнитного поля в пределах АН провинции; 9 – контур anomalно высоких значений магнитного поля в северо-западной области АН провинции; 10 – положение субмеридиональных и субширотных линеаментов; буквы в голубых квадратах – наименование тектонических провинций

минимальными значениями магнитного поля: значения магнитного поля резко возрастают до 150 нТл, скачок магнитного поля между смежными экстремумами достигает 300 нТл. Близкие соотношения границ Анабарской провинции с сопредельными территориями отмечаются по всему её контуру, но в данном случае тектоно-магматическое взаимодействие провинций было, вероятно, чрезвычайно интенсивным, что и фиксируется высокими градиентами магнитного поля.

Материалы естественного структурного разделения потенциальных полей на компоненты [15], данные о глубинном строении Сибирской плат-

формы позволяют оценить обстоятельства эволюции территории, которые привели к формированию как атрибута геологической среды Анабарской провинции отрицательной интенсивной аномалии магнитного поля в виде «ленивой» восьмёрки и её ограничение ортогональными линеаментами, рассматриваемые здесь как глубинные зоны разломов коромантийного заложения.

Геологическая природа интенсивной положительной низкочастотной магнитной аномалии на северо-западе АН провинции. Обратимся к рис. 2, А, где в качестве подложки использована низкочастотная составляющая гравитационного поля,

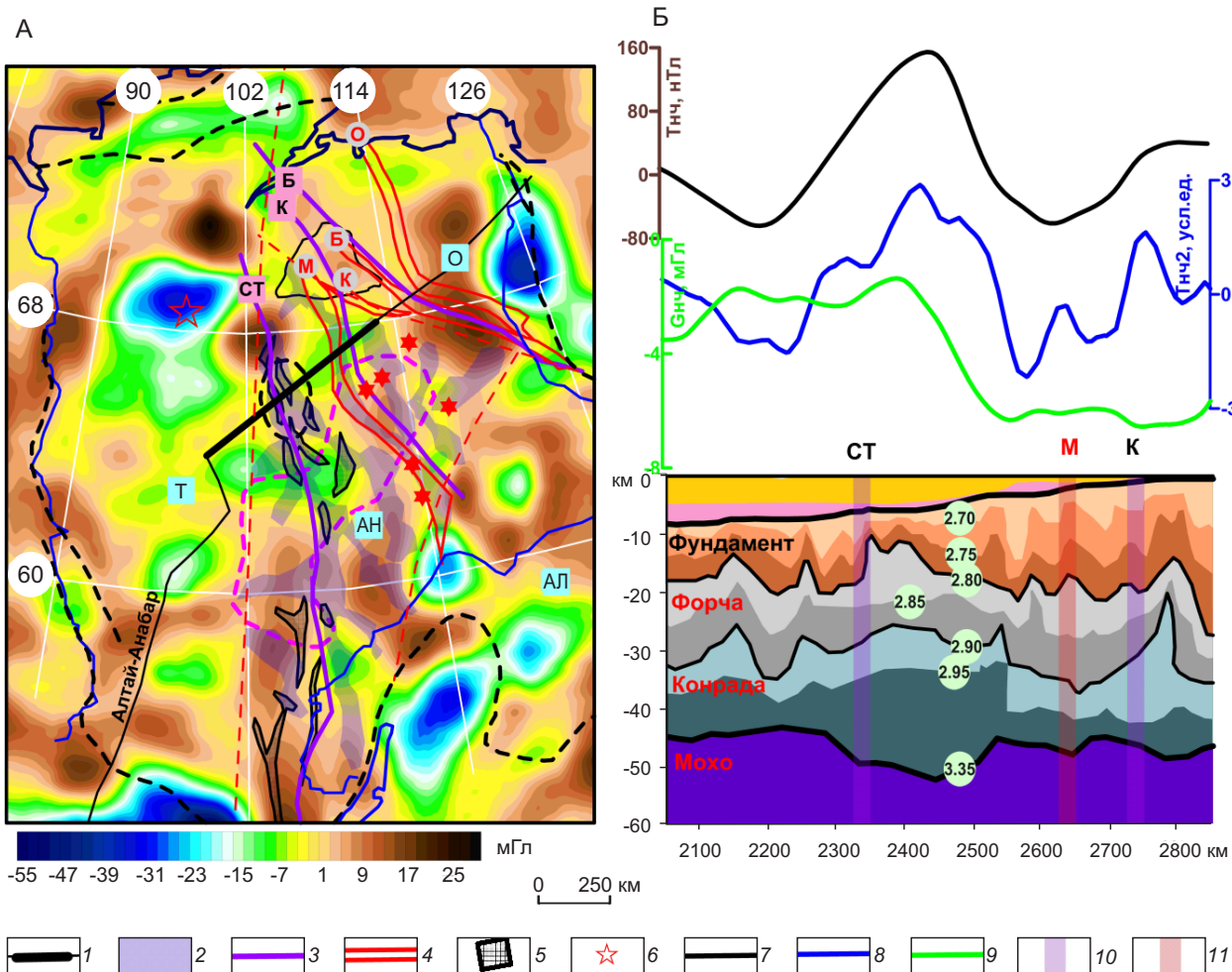


Рис. 2. Схематичная карта низкочастотной составляющей гравитационного поля Сибирской платформы (А) и геолого-геофизический разрез в плоскости профиля «Алтай–Анабар», интервал 2050–2850 км (Б):

А: 1 – положение линии разреза на профиле «Алтай–Анабар»; 2 – положительные значения главной компоненты магнитного поля в пределах АН провинции; 3 – тектонические швы (сутуры), по Розену [17]; 4 – зоны меланжа, по [20]; 5 – протувулканогены трахибазальтового и трахидацитового состава [6]; 6 – центр Сибирской изверженной провинции; буквы в розовых квадратах – сокращённые наименования сутур [17]; буквы в кружках – сокращённые наименования зон меланжа [20]; Б: 7 – низкочастотная составляющая магнитного поля; 8 – вторая главная компонента суммарной изменчивости магнитного поля; 9 – низкочастотная составляющая гравитационного поля; 10 – положение сутуры на разрезе, по [17]; 11 – положение зон меланжа, по [20]; числа в кружках – изолинии равных плотностей

которая несёт информацию о размещении и обособлении региональных структурно-вещественных комплексов Сибирской платформы по соотношению в составе консолидированной коры верхнего и нижнего её отделов. В пределах Анабарской провинции, от южных границ в северном направлении, трассируются две субмеридиональные зоны положительных значений поля, разделённые сопряжённой полосой пониженных вели-

чин поля. Западная зона на широте смены направления течения р. Нижняя Тунгуска с субмеридионального на субширотное (в области влияния Транссибирского линеамента) не наблюдается – она ограничивается широтной зоной пониженных значений поля и севернее в этом спектре частот не отмечается. Восточная зона фиксируется вплоть до границы с Оленёкской провинцией, но испытывает смещение в восточном направлении

на широте упомянутой отрицательной аномалии и уменьшение амплитуд поля.

В контурах Анабарской тектонической провинции показаны положительные значения кумулятивной характеристики (главного фактора) магнитного поля, с которым связаны до 50% его изменчивости в спектре пространственных частот от 25 до 250 км⁻¹. Наблюдается пространственная приуроченность атрибута (тёмные тона) к территориям с пониженными значениями гравитационного поля, к внешним границам зон положительных значений поля или к участкам изменения их структурного облика. Положение, размеры, морфологические особенности и объёмы (площади) данного атрибута пространства СП использованы исследователями строения и эволюции Сибирского кратона при выделении и изучении разломных зон (сутур, тектонических швов и др.) в его составе: см. рис. 2, А (цветовые индексы) – Саяно-Таймырская (СТ), Котуйканская (К) и Билляхская (Б) сутуры, по Розену [17]; Маганская (М), Котуйканская (К), Билляхская (Б) и Оленёкская (О) зоны меланжа по Парфенову [20]. Проявленность разломных зон в магнитном поле в пределах «ленивой восьмёрки» резко уменьшается по сравнению с окружающим пространством провинции: при окне осреднения 120 км не отмечается Котуйканская (по Розену) или Маганская (по Парфенову) разломные зоны, мелкие их сателлиты, а также Оленёкская сутура в одноимённой провинции. Исключением является Саяно-Таймырская зона (по Розену), присутствие которой фиксируется при окнах 250 и более км, она формирует изгиб «ленивой восьмёрки», разделяя центральную часть АН провинции примерно по 108 меридиану в.д., коренным образом меняя главные элементы структурного каркаса её литосферы.

На рис. 2, А тонкой чёрной линией показан композиционный профиль «Алтай-Анабар», а утолщённой линией в его пределах выделено положение структурно-плотностного разреза, приведённого на рис. 2, Б. Профиль «Алтай-Анабар» совмещён с сверхдлинным профилем ГСЗ «Шпат» и был создан в ходе реализации проекта «3D геологические структуры и металлогения Северной, Центральной и восточной Азии» (Е. Н. Черемисина и др., 2014).

Рассмотрение схематической карты и разреза позволяет установить геологическую природу интенсивной положительной низкочастотной аномалии магнитного поля размером до 250 × 400 км

и сопряжённую с ней положительной гравитационной аномалии внедрением базит-ультрабазитовых пород в зоне влияния прогиба поверхности Мохо. Это привело к увеличению мощности базальтового и инверсионного слоёв, сопровождалось коровой складчатостью, подъёмом границ Конрада и Форча, увеличением основности коры, деструкцией ГГС коры, метаморфизмом, горообразованием и др.

Из материалов (см. рис. 2) следует, что прогиб Мохо, задокументированный глубинными геофизическими исследованиями на профиле «Алтай-Анабар», где отмечается увеличение мощности средней и нижней коры, трассируется в северо-западном направлении и ограничивается в области пересечения 68-й параллели с.ш. и 102-го меридиана в.д. интенсивной положительной гравитационной аномалией. Южнее района пересечения с профилем прогиб отмечается субмеридионально-ориентированными аномалиями гравитационного поля, которые наиболее отчётливо фиксируются при радиусах осреднения поля от 25 до 100 км (рисунки 3, В и 4, А в работе [15]). В пределах этой зоны исследованиями ФБГУ «ВСЕГЕИ» на всем её протяжении выделяются линейные протовулканогены трахибазальт-трахидацитового состава как структуры проторогенного режима (см. рис. 2, А), что согласуется с геодинамическими процессами, которые здесь предполагаются [6].

На разрезе наблюдаются конформность внутрикоровых границ Форча, Конрада² и других плотностных разделов кристаллического фундамента и вместе с этим несогласное с ними субгоризонтальное залегание рифей-фанерозойских образований на пенепленизированной («гладкой» к их формированию) поверхности консолидированной коры. Изложенное свидетельствует об образовании структурных ансамблей фундамента, отображаемых в геофизических данных, на границе архея и протерозоя или не позднее палеопротерозоя. Возможно, это произошло в период внутриплитного раннерифейского рифтогенеза на территории Сибирской платформы, когда в западной и северо-западной её частях, в пределах Тунгусской провинции, возникли Игарско-Норильская, Маймеча-Котуйская и другие ныне погребённые рифтогенные структуры [6].

² При определении границ Конрада и Форча на структурно-плотностном разрезе «Алтай-Анабар» учтены материалы исследований Ж. В. Семинского, опубликованные в работе [18].

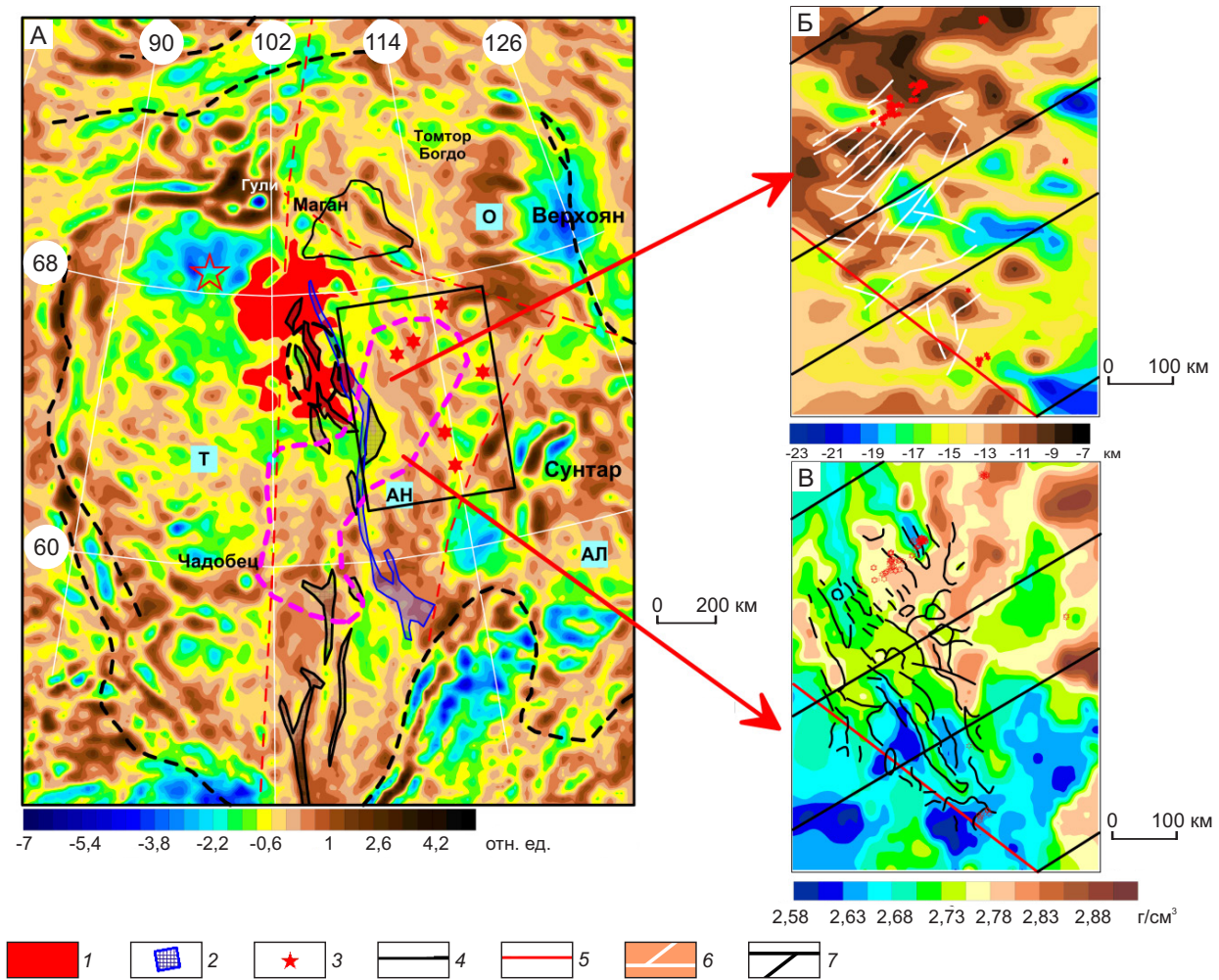


Рис. 3. Проявленность эредитарности палеопротерозойских и палеозойских мантийно-плюмовых процессов на территории Сибирской платформы в атрибутах геофизических полей: схематичная карта второй главной компоненты изменчивости четырёх фрагментов гравитационного поля (А), схематичная карта поверхности Форча, по данным ФГМ [15] (Б), схематичная карта плотности СВК, по данным ФГМ [15] (В):

А: 1 – «вихревая» мегаструктура раннепротерозойского возраста; 2 – тектонический шов гранитоидного состава [6]; надписи на рисунке – наименование и положение крупных геологических объектов; Б: 3 – кимберлитовые трубки; 4 – рифтогены северо-восточного простирания [5]; 5 – рифтогены северо-западного простирания [5]; 6 – секущие разломы (Б. А. Калмыков и др., 1997); В: 7 – границы СВК (Б. А. Калмыков и др., 1997)

Графики на рис. 2, Б иллюстрируют соответствие значений низкочастотных составляющих гравитационного поля – степени основности коры; составляющей магнитного поля – изменчивости гипсометрического положения внутрикоровых границ и мощности соответствующих подразделений и др. Количественная оценка корреляционной связи параметров коры в пределах рассматриваемого фрагмента профиля между ними и атрибутами потенциальных полей приве-

дена в табл. 1. Эмпирическая оценка степени корреляционной связи отвечает геотектонической обстановке применительно охарактеризованной профилем территории Сибирской платформы. Обратим внимание на высокие значения отрицательной корреляционной связи атрибутов магнитного поля и глубины залегания поверхности Мохо. Это мнимое соотношение появляется из-за увеличения основности коры в области изменения глубины залегания поверхности Мохо (чаще

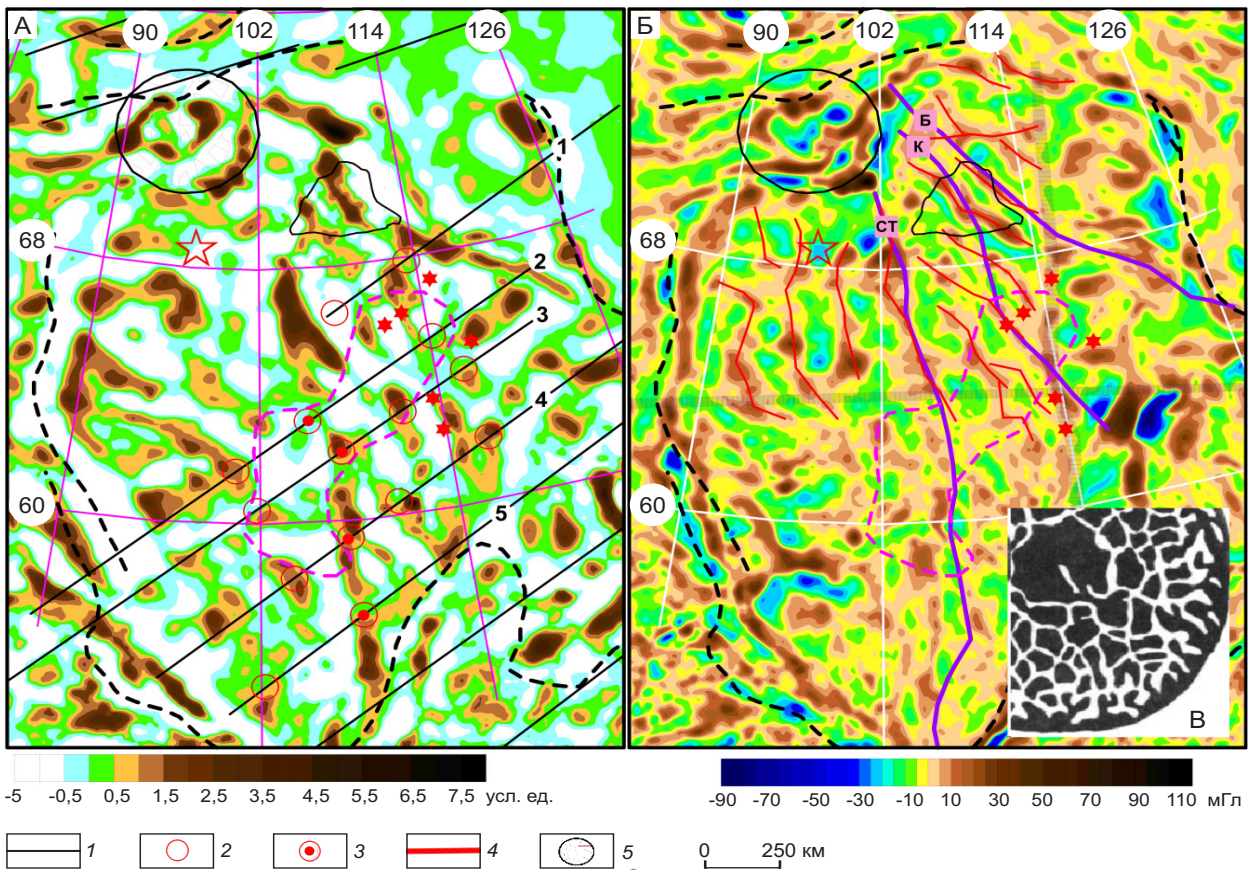


Рис. 4. Схематические карты СП: главной компоненты магнитного поля (А) и среднечастотной составляющей гравитационного поля (Б), фрагмент экспериментально полученной структуры конвективных ячеек кровли термального плюма (В), по [7]:

А: 1 – рифтогены и их номера; положение: 2 – сингулярностей и 3 – сингулярностей в пределах зоны СТ [17];
 Б: 4 – оси корреляции максимальных значений гравитационных аномалий; 5 – предполагаемое положение кровли плюма

из-за её погружения), что и сопровождается подъёмом границ Конрада и Форча, общей базификацией коры³.

³ График Тнч2 (усл. ед.), приведённый на рис. 2, Б, а в табл. 1 параметр Тнч2 характеризуют поведение и связи второй по вкладу главной компоненты суммарной изменчивости магнитного поля после его разделения на 4 частотных фрагмента с граничными радиусами осреднения (10–35, 35–60, 60–100 и 100–250 км) и обработки с помощью факторного анализа. Компонента отражает доминирование при положительных значениях нижних (низкочастотных) фрагментов поля, при отрицательных – верхних фрагментов на территории СП, что позволяет показать данным атрибутом поля положение, форму и размеры относительно глубокозалегающих образований коры, отличающихся повышенной намагниченностью.

Данный тезис апробирован качественным сравнением положительных значений низкочастотных составляющих магнитного поля в пределах СП и оценок положения границы Мохо (Конрада) в их границах (по материалам сейсмо (гео)траверсов, отработанных на территории СП). Рассмотрены ситуации близ ортогонального пересечения профилей с главным простиранием положительных аномалий низкочастотного магнитного поля (табл. 2). Материалы сопоставления подтверждают предположение, однако они не исключают иные геодинамические обстановки, в пределах которых могут наблюдаться области повышенных значений магнитного поля без изменения положения границы Мохо.

1. Коэффициенты парной линейной корреляции между параметрами коры и атрибутами потенциальных полей

Параметры	Потенциальные поля			Поверхности (кровли)				Мощности отделов консолидированной коры					Основность
	Тнч	Тнч2	Гнч	М	Бс	Пс	Ф	Бс	Пс	ГГС	коры	Бс+Пс	
Тнч	1,00	0,91	0,25	-0,87	0,59	0,53	0,01	0,84	-0,24	-0,32	0,52	0,81	0,50
Тнч2	0,91	1,00	0,18	-0,79	0,59	0,44	0,02	0,80	-0,34	-0,26	0,48	0,71	0,42
Гнч	0,25	0,18	1,00	0,03	0,42	0,53	-0,88	0,27	0,00	-0,88	-0,59	0,30	0,78
Мохо (М)	-0,87	-0,79	0,03	1,00	-0,40	-0,46	-0,29	-0,78	0,05	0,10	-0,79	-0,84	-0,34
Конрад (Бс)	0,59	0,59	0,42	-0,40	1,00	0,70	-0,24	0,89	-0,63	-0,58	0,08	0,65	0,67
Форча (Пс)	0,53	0,44	0,53	-0,46	0,70	1,00	-0,30	0,71	0,12	-0,81	0,08	0,87	0,92
Фундамент (Ф)	0,01	0,02	-0,88	-0,29	-0,24	-0,30	1,00	-0,02	0,00	0,81	0,84	-0,02	-0,64
Мощность (Бс)	0,84	0,80	0,27	-0,78	0,89	0,71	0,00	1,00	-0,46	-0,45	0,45	0,87	0,63
Мощность (Пс)	-0,24	-0,34	-0,01	0,05	-0,63	0,12	-0,13	-0,46	1,00	-0,07	-0,03	0,05	0,07
Мощность (ГГС)	-0,32	-0,27	-0,88	0,10	-0,58	-0,81	0,81	-0,45	-0,07	1,00	0,46	-0,55	-0,96
Мощность коры	0,52	0,48	-0,59	-0,79	0,08	0,08	0,82	0,45	-0,03	0,46	1,00	0,49	-0,21
Мощность (Бс+Пс)	0,81	0,71	0,30	-0,84	0,65	0,87	-0,02	0,87	0,05	-0,55	0,49	1,00	0,75
Основность	0,50	0,42	0,78	-0,34	0,67	0,92	-0,64	0,63	0,07	-0,96	-0,21	0,75	1,00

Примечание. Расчёты выполнены по значениям характеристик, снятым с графиков потенциальных полей и внутрикоровых границ разреза (шаг оцифровки – 20 км, 40 ф.т. – число значений изучаемых параметров, которые использованы для оценки коэффициентов корреляции); красным цветом выделены значимые (с уровнем < 0,05) коэффициенты корреляции; выделенные синим цветом единицы визуально разделяют матрицу на две половинки, что улучшает её анализ.

Промежуточный вывод. Геологическая природа интенсивной положительной аномалии низкочастотной компоненты магнитного поля на северо-западе Анабарской тектонической провинции обусловлена внедрением в литосферу мафит-ультрамафитовых пород и структурно-вещественными преобразованиями её субстрата, которые датируются ранним протерозоем, что нашло отражение в строении и динамике низкочастотного магнитного поля, обусловленного намагниченностью пород нижних отделов коры и мантийной литосферы [9].

Отражение в геофизических данных элементов нелинейной геодинамики в образованиях докембрия. Рассмотренные в пределах контрастной положительной аномалии магнитного поля тектоно-магматические события являются региональной реализацией масштабных палеопротерозойских геологических процессов, которые имели место как на стыке Оленёкской, Тунгусской и Анабарской тектонических провинций, так и в пределах всей Сибирской платформы. Обратимся к раскрытию этого тезиса в материалах статьи.

В качестве растровой подложки на рис. 3, А использован атрибут гравиметрического поля, который отражает доминирование при положительных значениях низкочастотных значений поля, при отрицательных – верхних частот, что позволяет оценить положение, форму и размеры относительно глубокозалегающих образований коры, отличающихся повышенной или пониженной избыточной плотностью.

Интенсивная изометричная гравитационная аномалия в районе пересечения 68° с.ш. и 102° в.д. (см. рис. 2, А) здесь (см. рис. 3, А) приобретает ползущую (вытянутую на юг) амёбообразную

2. Данные сопоставления областей повышенных значений низкочастотного магнитного поля с положением границы Мохо и отражающими границами в основании коры

Профиль	Фрагмент, пк		Подъём/прогибание Мохо	Длина участка, км	Глубина Мохо/амплитуда, км	Инверсия ОГ выше Мохо (есть/нет)
	от	до				
Горизонт	251	261	Прогибание	110–120	-40...-43/3	инверсия ОГ, пк 255
	170	190		175–200	-33...-37/4	инверсия ОГ нет
	120	140		175–200	-38...-41/3	инверсия ОГ, пк 125
Шпат	305	323	Прогибание	110–125	-41...-45/4	инверсия ОГ, пк 320
	240	260		180–200	-40...-47/7	инверсия ОГ, пк 245
	200	225		150–200	-44...-52/8	нет ОГ (см. профиль «Алтай-Анабар»)
	130	150		150–200	-43...-47/4	инверсия ОГ, пк 125
Рифт-V	100	162	Общее прогибание	500–600	-39...-47/8	переменная инверсия ОГ, пк 130, 155
Рифт I	160	180	Прогибание	150–200	-41...-44/3	инверсия ОГ, пк 165, 175
	110	130		150–200	-40...-42/2	инверсия ОГ, пк 125
	40	80		300–350	-37...-43/6	инверсия ОГ, пк 75, 65, 54
Кратон	150	180	Прогибание	200–250	-44...-48/4	инверсия ОГ, пк 160, 170
	190	210		около 200	-45...-52/7	инверсия ОГ, пк 195–205
	215	230		100–110	-45...-51/6	инверсия ОГ, пк 225
	245	260		120–150	-45...-50/5	инверсии ОГ нет
	270	300	Подъём	250–300	-32...-40/8	инверсия ОГ, пк 260
Кимберлит	110	140	Прогибание	200–250	-42...-44/2	инверсии ОГ нет
	245	260		50–100	-38...-43/5	инверсия ОГ, пк 255
Батолит	110	160	Прогибание (пк 122-124)	400–500	-40...-42/2	инверсия ОГ, пк 145
	180	190	Прогибание	100	-40...-43/3	инверсия ОГ, пк 185
	240	255		100–150	-41...-45/4	инверсия ОГ, пк 250

форму, очертания которой на западе и северо-западе имеют резкие ограничения. В южных и восточных румбах внешние контуры аномалии менее контрастны, происходят усложнение контура, его распад, образование ответвлений, их удлинение и изменение направлений, наконец, срастание с соседними структурными формами. В области расположения положительной магнитной аномалии (показана чёрным пунктиром) наблюдается фрактальное тиражирование амёбообразной структурной формы, что можно признать проявлением нелинейной геодинамики. Внешние

ответвления амёбообразной формы изогнуты подобно ороклиналям по часовой стрелке, из-за чего формируют образ крупной вихревой мегаструктуры.

Графическая иллюстрация гравиметрического атрибута в пределах этого пространства Сибирской платформы и её краткое описание позволяют предположить, что материальными носителями образа являются сложноорганизованные тектономагматические структуры консолидированной коры, имеющие иерархически-блоковое строение с близкой к хаотичной внутренней делимостью.

Здесь исследованиями ФБГУ «ВСЕГЕИ» фиксируются пять субмеридионально-ориентированных протовулканогенов, а также центральная тектоно-гранитоидная шовная зона в составе Анабарской тектонической провинции [6].

Подобным структурным рисунком атрибута, который можно рассматривать как геофизический индикатор мантийно-плюмовых процессов, характеризуется центральная часть Вилюйской синеклизы, где также наблюдаются образы контрастно проявленных ротационно-вихревых элементов тектоно-магматических СВК палеозойской Патомско-Вилюйской рифтогенной системы (см. рис. 3, А, подпись «Сунтар»). Менее отчетливо фиксируется аналогичная геодинамическая обстановка в области северного проявления рифтогенной системы Вилюйской магматической провинции (см. рис. 3, А, подпись «Верхоян»).

Геодинамическое влияние регионального центра (выделен красным цветом) предполагаемых мантийно-плюмовых процессов на смежные территории можно оценить при рассмотрении материалов физико-геологических моделей (ФГМ) Вилюй-Мархинского междуречья [16]. На рис. 3, А чёрным контуром (прямоугольник) показана территория междуречья, геологическое строение земной коры которой в 1988–1996 гг. стало объектом изучения посредством объёмного ФГМ на основе решения обратных и прямых задач гравиразведки с применением компьютерных технологий и привлечением материалов данных площадных ГСЗ [19]. В качестве модели консолидированной коры принята модель Н. И. Павленковой как трёхслойного геологического пространства, включающего гранито-гнейсовый (ГГС), переходный (гранулит-базитовый, ПС), базальтовый (БС) отделы коры (Б. А. Калмыков и др., 1997).

Обработка материалов моделирования с позиций нелинейной геологии позволила установить иерархически (фрактально) построенные структуры деструкции верхнего и среднего отделов консолидированной коры и уменьшение её масштабов с северо-запада на юго-восток междуречья [16]. В указанной публикации остались нераскрытыми причины убывания (нарастания) степени деструкции коры и направление её изменчивости. Вышеизложенное и содержание рис. 3, Б и 3, В позволяют прояснить эти обстоятельства.

На первой врезке показано гармоничное сочетание масштабных переходов фрактально-организованной поверхности Форча с положением северо-

восточных региональных глубинных разломов, для которых характерны признаки растяжения (условно «рифтогены» [5]): отмечается упрощение её поверхности и уступообразное погружение на восток-юго-восток. Подобным иерархически-организованным образом структурированы мощности гранито-гнейсового и переходного слоёв, а также суммарная мощность переходного и базальтового слоя, общая деструкция коры [16]. Белыми линиями показаны поперечные к системе анабарид разломы, выделенные по результатам ФГМ, аналогичного «рифтогенам» простирания, и которые можно рассматривать как их проявления на поверхности фундамента⁴ [5], (Б. А. Калмыков и др., 1997).

Вторая врезка (см. рис. 3, В, растр – плотность СВК междуречья) иллюстрирует положение, направление и протяжённость границ СВК верхнего отдела архейской консолидированной коры с его разделением на пять типовых СВК: гранитового (плотность 2,62 г/см³), гранитогнейсового (2,67 и 2,73 г/см³), чарнокит-эндербитового (2,78 г/см³) и чарнокит-эндербитового гранулитовой фации метаморфизма (2,82 г/см³) (Б. А. Калмыков и др., 1997). Фиксируются возрастание дробности северо-западных внутрискладчатых границ с юго-востока на северо-запад, их независимость от плотности субстрата, скачкообразное изменение протяжённости границ в местах их пересечения с «рифтогенами» северо-восточного простирания и другие особенности геологической среды.

Площадными исследованиями методом глубинного сейсмического зондирования (ГСЗ), выполненными в пределах Якутской алмазоносной провинции, контур которых в целом соответствует работам по ФГМ строения земной коры (см. рис. 3, А), была установлена «полосчатая» (знакопеременная) структура аномалий граничной скорости по поверхности Мохо северо-западного простирания [19]. Это послужило основанием для выделения «зоны аномально неоднородных верхов мантии» такого же простирания, с которой авторы связывают тектоническую расслоенность

⁴ Поперечные по отношению к анабаридам, как и внутрискладчатые, разломы выделены только в пределах площади деятельности ЧГРЭ с включением в качестве эталонов Мирнинского, Алакит-Мархинского и Далдынского кимберлитовых полей в ходе создания «Карты строения фундамента с элементами геофизических полей» масштаба 1:500 000 Е. А. Андросовым (Б. А. Калмыков и др., 1997).

нижней части земной коры, сопровождаемую насыщением коры ультрабазиитами. Рассмотрение структурных форм мощности ГГС, кровли и мощности ПС, степени деструкции консолидированной коры [16], (Б. А. Калмыков и др., 1997) и плана изолиний граничных скоростей [19] показывает их соответствие по морфологии, размерам, положению и ориентировке в пространстве. Конформность структурных форм параметров коры по данным ФГМ и скоростных атрибутов по кровле верхней мантии (ГСЗ) свидетельствует, что эти характеристики геологической среды отражают коррелятивные структурно-вещественные преобразования пород докембрия и литосферной мантии.

Таким образом, зафиксированные на площади ФГМ фрактально-организованные разломные структуры, соответствие структурных форм консолидированной коры её петрофизическим характеристикам обусловлены и генерированы палеопротерозойскими тектоно-магматическими процессами, которые, как отмечено выше, привели к глубоким структурно-вещественным изменениям литосферы, в том числе к её обогащению высокобарическими горными породами и минералами.

Деформационно-метаморфические структуры, эредитарность докембрия, палеопротерозойский мантийно-плюмовый магматизм Сибирской платформы. Растр на рис. 4, А маркирует положительные значения первой главной компоненты суммарной изменчивости (47%) магнитного поля после его разделения на 4 частотных фрагмента с граничными радиусами осреднения (10–35, 35–60, 60–100 и 100–250 км) и обработки с помощью факторного анализа для выделения корреляционно-связанных частей спектра магнитного поля.

Положительные значения главной компоненты изменчивости магнитного поля в пределах АН провинции образуют очаго-веерную структурную упорядоченность, интерпретацией которой и являются геологические построения [17, 20]. Отметим нелинейное иерархически-древовидное строение структурной упорядоченности положительных значений компоненты и её приближение по своей морфологии и внутреннему строению к структурам разломного (мегатрещинного) типа с признаками естественного фрактального развития, который реализуется согласно правилу максимального производства энтропии [10]. Здесь этот принцип проявляется в последовательном

заполнении пространства провинции с северо-запада, от стыка Тунгусской, Оленёкской и Анабарской провинций, в юго-восточном направлении, вплоть до северо-западных флангов наложенной Патомско-Виллюйской палеорифтогенной системы, объединёнными в единый структурный ансамбль сублинейными участками повышенных значений магнитного поля.

Не только удивительным⁵, но и важным обстоятельством является согласованность строения фрактально-организованной упорядоченности повышенных значений компоненты с северо-восточными «рифтогенами», выделенными по гравиметрическим данным [5]: на рис. 4, А маркерами показаны некоторые узлы (участки) их пересечения, где наблюдаются особенности поведения атрибута – изменчивость морфологии, амплитуды, направления, размеров, появление ветвлений, ограничение роста или полный коллапс в отношениях, например в районе южного маркера «рифтогена» № 1. Последний факт, когда «рифтоген» № 1 не устанавливается южнее области интенсивного магнитного максимума, возникновение которого обусловлено, вероятно, тектоно-магматическими событиями, рассмотренными ранее, указывает на архейский возраст «рифтогенных» глубинных разломов как каркаса основных разломных структур, возможно, сформировавшихся к концу пермобильного режима развития Сибирской платформы [6]. Маркеры с двойными кружками, проставленные вдоль положения Саяно-Таймырской сутуры, по Розену [17], в местах пересечения повышенных значений атрибута с «рифтогенами», иллюстрируют родство этих узлов с аналогичными особенностями (сингулярностями), которые отмечаются на всей территории Анабарской тектонической провинции, что указывает на их пространственно-генетические связи. Подобные сингулярности атрибута фиксируются не только в пределах данной провинции, но и на сопредельных территориях, а также в местах его пересечения с «рифтогенами» других направлений, которые приведены в работе [5]. Сингулярности фиксируются повсеместно

⁵ Удивительным факт согласованности магнитометрических и гравиметрических данных представляется из-за их резкого отличия масштабов: атрибут рассчитан по материалам среднемасштабных аэромагнитных съемок, а рифтогены (гравиметрические материалы) выделены по спутниковой альтиметрии [5].

в местах пересечения «рифтогенов» с линейными структурными элементами атрибутов потенциальных полей. Они фиксируют участки их высоких градиентов, что косвенно указывает на преимущественно разломную природу рассматриваемых сингулярностей.

Напомним, что на рис. 2, А показана приуроченность областей повышенных значений компоненты к внешним границам как крупных, так и менее крупных структурно-плотностных неоднородностей, которые в большей степени отвечают СВК разного ранга и уровня. Наряду с вышеизложенным это позволяет предположить, что упорядоченность (квазилинейные элементы магнитного поля) отражает единую для АП палеопротерозойскую региональную систему разломов как линеаментную разновидность деформационно-метаморфических структур земной коры (ДМС, по [22]), которая обусловлена мантийно-плюмовыми событиями.

Согласованность сингулярностей атрибута с системой «рифтогенных» разломов фиксирует значительные масштабы тектоно-магматических событий в раннем палеопротерозое, взаимосвязь процессов формирования ДМС с геологическими процессами внешнего геологического пространства через структуры растяжения и сжатия. В этом проявляется единство геологической среды и протекающих в ней процессов, когда происходит формирование в её составе и структурах эрдитарности об указанных событиях как последствия реализации закона симметрии-дисимметрии и иных геологических канонов [14].

Материальными носителями ДМС являются деформированные породы архейского фундамента, существенно обогащённые халькофильными и главным образом сидерофильными элементами, входящими как в состав породообразующих минералов, так и в состав ферромагнитных минералов. Геолого-геофизические материалы по Анабарскому щиту показывают, что такими образованиями могут быть: плагиоэклогит-гиперстеновые сланцы, мрамор-гиперстеновые гнейсы [6], эндрбиты, чарнокиты или мафические гранулиты [17], породы Маганского и Далдынского террейнов гранулитовой фации метаморфизма [20]. Из-за недоступности объектов изучения осуществление структурно-формационной идентификации ДМС едва ли возможно, однако, учитывая масштабы (протяжённость, мощность, распространённость и энтропийность им соответствующи-

щих линейных элементов магнитного поля), представляется безусловным участие в их формировании мафит-ультрамафитовых пород при мантийно-плюмовых масштабных событиях, имевших место на Сибирской платформе в раннем палеопротерозое.

Сделанный в публикации акцент на характеристике отражения в магнитном поле очагово-веерной организации ДМС в фундаменте Сибирской платформы вследствие мантийно-плюмовых палеопротерозойских событий не означает отсутствие на них рефлексии в гравитационном поле, которая благодаря эрдитарности геологических процессов присутствует в визуализациях простых атрибутов гравитационного поля. Отображение предполагаемого мантийно-плюмового воздействия на фундамент в поле силы тяжести СП является хотя и менее контрастным, но более системным и очевидным, что следует из-за большей консервативности свойств, объёма и положения в пространстве фундамента СВК как материальных источников гравитационного поля. Термально-тектоническое плюмовое воздействие на фундамент и, следовательно, на структуру гравитационного поля обнаруживается на рисунках 3–5, но более отчётливо демонстрируется на рис. 4 б не только на территории Оленёкской и АН провинций, но и в пределах Тунгусской синеклизы. Вытянутые знакопеременные аномалии, отражающие сублинейную складчатость верхних отделов докембрийского фундамента, имеют сходный структурный облик, что указывает на их общий генезис, который подтверждается также последовательной от широты Попигайского кратера (72° с. ш.) до примерно широты Транссибирского линеамента (64° с. ш.) между западными краевыми швами Сибирской платформы и Восточным линеаментом (114° в. д.) в пространстве указанных провинций сменой простирания аномалий с субширотного на северо-западное до субмеридионального. Гравитационные аномалии очертанием, квазиочагово-веерной структурной упорядоченностью и единством с магнитометрическими данными указывают на источник энергомассопереноса, примерное его положение, его размеры и морфологию, что в совокупности согласуется со структурно-вещественными проявлениями мантийно-плюмовых палеопротерозойских событий, подъёмом головной части плюма в районе 72° с. ш. и 96° в. д., существенно севернее позиции центра плюма, ответственного за формирование

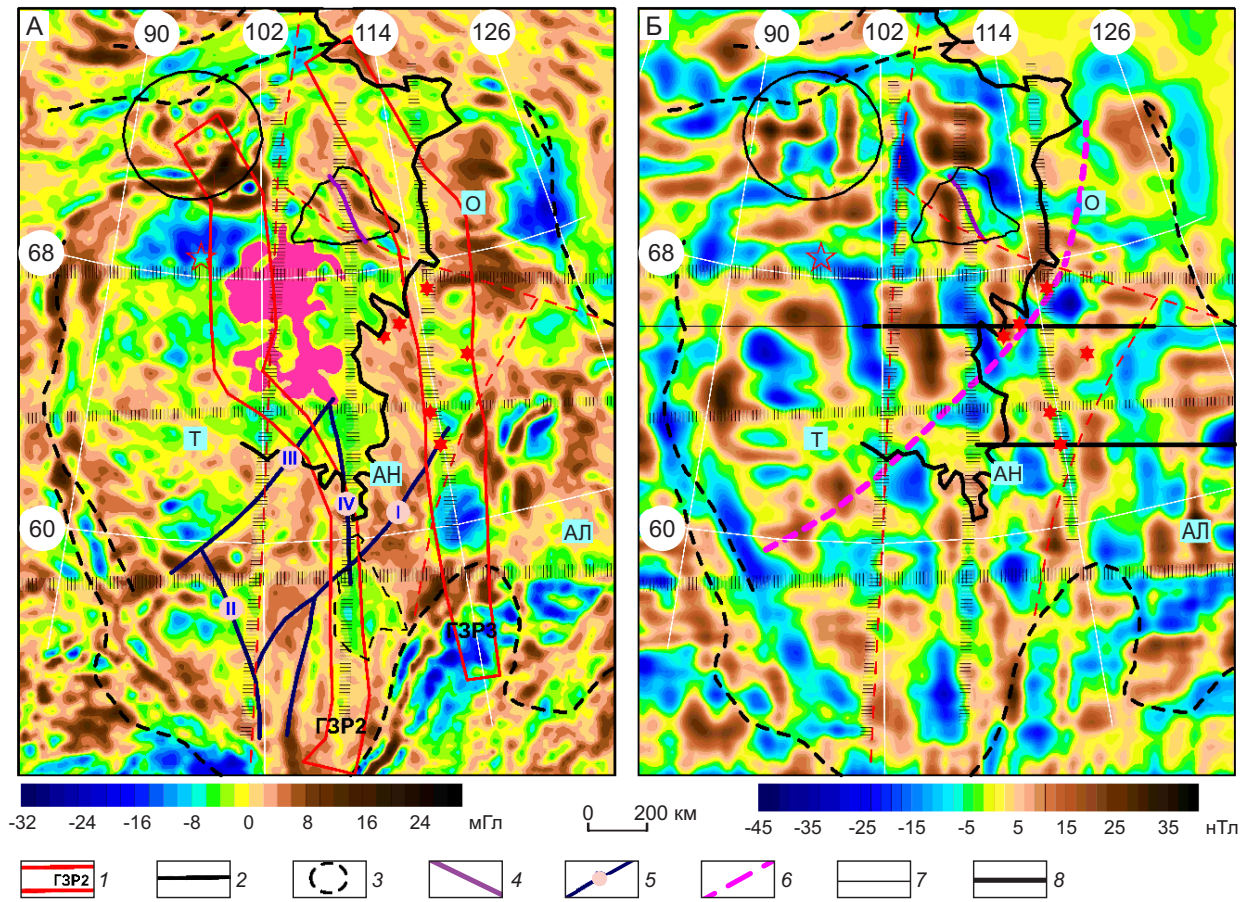


Рис. 5. Схематические карты СП: второй компоненты изменчивости среднечастотного гравитационного поля (А), третьей компоненты изменчивости низкочастотного магнитного поля (Б):

А: 1 – глубинные зоны растяжения [4]; 2 – восточная граница палеопротерозойского геодинамического воздействия на литосферу СП; 3 – предполагаемая область воздействия в зоне Таймыро-Байкальского линейамента; 4 – главный Анабарский разлом; 5 – зоны глубинных разломов АВРП и их наименование [2]: I – Ангаро-Виллюйская, II – Ангаро-Ковинская, III – Катанга-Илимпейская, IV – Нижнетунгусская; Б: 6 – Тунгусско-Оленёкская зона глубинных разломов; 7 – положение томографического разреза через территорию СП [1]; 8 – то же в районах Далдынского и Мирнинского полей [1]

пермо-триасовой Сибирской трапповой изверженной провинции. Структурный каркас основания Тунгусской синеклизы во многом унаследовал раму субмеридиональных и менее отчётливо сеть широтных разломных зон докембрийского фундамента, с которыми можно связывать градиентные границы знакопеременных гравитационных аномалий. Возможно, это привело к проявлению в пределах синеклизы рассеянного рифтогенеза в период второго этапа мантийно-плюмовых событий в регионе, когда сформировалась Сибирская изверженная провинция пермо-триасового интрузивного и эффузивного траппового магма-

тизма. Высокий теплоэнергетический потенциал мантийно-плюмовых событий раннего протерозоя, его значительные пространственно-временные масштабы обусловили наблюдаемую в настоящее время линейную складчатость докембрийского фундамента СП и её отображение в геофизических полях как «застывшую» палеогеодинамику мегацикла развития СП (см. рис. 4).

Композиция атрибута гравитационного поля на территории северо-западного сегмента Сибирской платформы подобна экспериментально полученной структуре конвективных ячеек кровли термального плюма по форме и размерам ячеек,

ориентировке и положению границ между ними, латеральным детерминистским и одновременно иерархически-построенным (фрактальным) тенденциям в изменчивости их пространственных характеристик и соотношений (см. рис. 4, В [7]).

Выводы. Положение, морфология и размеры области отрицательных значений низкочастотной магнитной аномалии, которая характеризует состав и структуру литосферы центральной части АН тектонической провинции, обусловлены палеопротерозойским мантийным магматизмом и сопутствующими геологическими процессами, которые с учётом их масштабности в латеральном и радиальном направлениях являются следствием возникновения и развития в северо-западном сегменте Сибирской платформы суперплюмной активности.

Матрица ортогональных линеаментов – физико-геологическая реальность и результат архейского развития Сибирской платформы. Графические и табличные материалы статьи являются объективными отображениями геологического строения СП в её современных границах и состоянии как физической реальности.

Используя приёмы группирования различных фрагментов спектра пространственных частот потенциальных полей и последующего разделения посредством факторного анализа этого многомерного пространства данных на основные компоненты, проиллюстрируем образы некоторых из них на пространстве СП (рис. 5). На рис. 5, А показана пространственная изменчивость второй главной компоненты суммарной изменчивости четырёх извлечений из гравитационного поля после его осреднения с радиусами 10–35, 35–60, 60–100, 100–200 км; с ней связываются 25% дисперсии поля в указанных диапазонах. Рисунок иллюстрирует проявленность и обоснованность выделения субмеридиональных линеаментов картированием сингулярностей этого параметра поля. Линейные зоны сингулярностей поля маркируются близкими к нулю значениями компоненты, имеют ширину от 20 до 80 км. Низкие значения компоненты указывают на отсутствие в пределах зон доминирующих составляющих поля, что является следствием бесструктурности (деструкции) геологической среды в её радиальном направлении. Зоны сингулярностей, отображающие положение линеаментов, картируются на всём пространстве СП, они сопряжены с меридианами 102°, 108° и 114° в. д., разделяют территорию

на части («домены») с различным структурным обликом (имиджем) компоненты. Пространство между линеаменами Западный (102°) и Центральный (108°), Центральный и Восточный (114°) с исключением области между 62° с. ш. и южной границей Анабарского щита во многом аналогичны: севернее Анабарского щита между 102° и 114° фиксируются чередующиеся знакопеременные линейные аномалии северо-западного простирания, которые сохраняются южнее щита лишь в полосе 108° и 114° в. д. Южнее области влияния Транссибирского линеаментов вновь наблюдается сходство линейных и нелинейных элементов компоненты: их совокупности образуют две идентичные субмеридионально ориентированные области (102°–108° и 108°–114°), разделённые Центральным линеаментом, известным на данном интервале как Таймыро-Байкальский линеамент. Главный Анабарский разлом (фиолетовая линия) является фрагментом Центрального (108°) линеаментов, на что указывает не только его положение, но и такая же сдвиговая кинематика, которая установлена на Анабарском щите для разлома [6, 20] и которая фиксируется в полосе линеаментов вне щита по взаимоотношениям граничных структурных элементов, принадлежащих смежным тектоническим «доменам» – территориям Сибирской платформы.

Практически полное разрушение структурного облика компоненты между 62° с. ш. и южной границей Анабарского щита в полосе 102°–108°, отражающей соответствующие структурно-вещественные преобразования складчатого фундамента, обусловлено, как показано ранее, палеопротерозойскими плюм-мантийными событиями (см. рис. 4). Восточная граница области масштабного геодинамического влияния плюма на архейскую литосферу показана на рис. 5 (чёрная линия), возможно его воздействие в зоне Таймыро-Байкальского линеаментов к югу до 56° с. ш. (чёрный штрих-пунктир). При этом Транссибирский и Восточный (114° в. д.) линеаменты ограничивают область влияния плюма, являясь, вероятно, длительно-функционирующими диссипативными системами литосферы.

Из изложенного следует, что субмеридиональные линеаменты Западный (102°) и Восточный (114°) сформировались до раннепротерозойских плюм-мантийных событий, тогда как Таймыро-Байкальский (108°) линеамент и его сателлиты в верхних отделах коры являются следствием их

проявления и развития. Рассматриваемые субмеридиональные сингулярности атрибута гравитационного поля как отображения физической реальности литосферы Сибирской платформы фиксируют положение и статус зон крупных разломов, имеющих протяжённость 2–3 тыс. км и глубокое проникновение в мантию. Принципиально они соответствуют линеаментам Башарина, установленными по геологическим данным [3], корреспондируются с глубинными зонами растяжения (ГЗР) в основании земной коры, выделенными Л. В. и Н. К. Булиными и В. И. Драгуновым по данным обработки пластовых скоростей поперечных волн (см. рис. 5, А), [4]. Субмеридиональные зоны сингулярностей атрибута гравитационного поля локализируют положение ГЗР, и, как отмечают авторы публикации [4]⁶, они «... представляют собой мантийного заложения рифтогенно-раздвиговые зоны деструкции, в которых произошла сильнейшая переработка пород фундамента». Остаётся согласиться с авторами статьи [4] в том, что субмеридиональные зоны деструкции литосферы Сибирской платформы конкретизируют проявленность и положение линейных рифтоподобных архейских структур, предсказанных Е. Е. Милановским [13].

Распределение третьей компоненты низкочастотных извлечений магнитного поля (радиусы осреднения 60–100, 100–200, 200–400 км), которая объясняет до 10 % их изменчивости, отображено на рис. 5, Б. Визуализация компоненты представляет собой совокупность линейных знакопеременных, в основном ортогонально расположенных аномалий субширотного и субмеридионального простирания, которые согласуются с сетью выделенных линеаментов и подчёркивают обоснованность их положения. Например, центральный широтный линеамент, близкий к статусу Транссибирского (64° с.ш.), на всём протяжении от западных краевых швов СП до русла р. Лена проявляется как фрагменты аномалий компоненты этого же направления либо ограничивает аномалии субмеридионального простирания, фиксирует смену их знака, интенсивности,

иные пространственные сингулярности параметра (см. рис. 5, Б).

Сопоставление пространственной изменчивости компоненты с материалами томографии магнитного поля вдоль профиля через всю территорию СП на широте трубки Удачная (см. рис. 5, Б, тонкая чёрная линия, [1, рис. 8]; толстая чёрная линия [1, рис. 4D]) и профиля на широте трубки Мир (см. рис. 5, А, толстая чёрная линия, [1, рис. 4, В]), а также качественное сопоставление с результатами выделения латеральных сейсмических неоднородностей в мантии Сибирского кратона вдоль сверхдлинных профилей Кратон, Метеорит и Рифт [11, 12] показали, что параметр отображает интегральный эффект намагничённости от крупных вещественных неоднородностей мантийной литосферы в интервале глубин 50–150 км. Важной особенностью компоненты при её детализации является обнаружение ячеистой структуры крупных аномалий любого знака, их фрагментирование на решётки более мелких ячеек. Подобная сингулярность потенциальных полей фиксируется в области длинноволновой части их спектра при анализе «тонких» фрагментов, что, возможно, является реликтовым отражением конвективных процессов в мантии при образовании древней литосферы Сибирской платформы.

Существенной на основе анализа соотношения амплитудных значений компоненты представляется дифференциация изучаемого пространства на крупные области, которые в целом отвечают положению тектонических провинций. В западной части Сибирской платформы, включающей Тунгусскую провинцию, северо-западные сегменты Анабарской и Оленёкской провинций, выделяются наиболее интенсивные знакопеременные аномалии компоненты значительной площади, которые отражают мозаично-крупноблоковое субъячеистое строение литосферы и её значительную тектоническую делимость в отличие от центральной части платформы и отчасти восточных территорий платформы. Юго-восточное ограничение этой территории (показано розовым штрих-пунктиром) сочетается с положением восточной границы геодинамического влияния палеопротерозойских плюм-мантийных событий по гравиметрическим данным (см. рис. 5, А, утолщённая чёрная линия). Указанное ограничение практически совпадает с положением Тунгусско-Оленёкской зоны разломов, что свидетельствует о взаимосопоставлении материалов потенциальных

⁶ Ранее Н. М. Чернышевыми, Л. И. Бокая [21] по структурным картам поверхности кристаллического фундамента и поверхности Мохоровичича была выделена система близ ортогональных желобовых ослабленных субмеридиональных поясов и субширотных зон, комплементарная обсуждаемой в статье системе линеаментов.

полей и адекватности предложенного геологического истолкования геофизических данных обобщённым геолого-тектоническим построениям в части изучения главных структур Сибирской платформы.

Таким образом, рассмотренные атрибуты потенциальных полей, характеризующие глубинное строение СП на разных уровнях литосферы, показывают, что северо-западный и юго-западный сегменты платформы обоснованно считаются складчатыми системами [8].

Не останавливаясь на характеристике и других особенностях структурных ансамблей компоненты (см. рис. 5, Б), отметим, что границы тектонических провинций в пределах пространства Сибирской платформы в целом отвечают выделенным линеаментам. Значение линеаментов как системы долгоживущих глубинных корово-мантийных разломных образований в размещении тектонических провинций Сибирской платформы и локализации алмазоносной литосферы представляется существенным (см. рисунки 1–6).

Результаты анализа и обработки материалов в контексте алмазоносности литосферы Сибирской платформы. Обратимся к рис. 6, который иллюстрирует основные тезисы публикации и уточним их содержание.

1. Центральная часть Сибирской платформы, АН тектоническая провинция, за исключением её северо-западной области, характеризуются низкими значениями длинноволновой части спектра магнитного поля и умеренными, близкими к средним для платформы значениями длинноволновой части спектра гравитационного поля. Все кимберлитовые поля, кроме Чомполинского поля находятся на территориях, которые характеризуются низкими или пониженными значениями длинноволновой части спектра магнитного поля.

2. Для территории АН характерны низкие значения изменчивости гравитационного поля во всём диапазоне пространственных частот (см. рис. 1 б). Высокая изменчивость магнитного поля с переходом в низкочастотную часть спектра резко снижается (исключение – северо-западная область), но возрастает на смежных с АН провинцией территориях (см. рисунки 1, А, 5, Б). Иначе говоря, вся территория АН провинции характеризуется низкой изменчивостью длинноволновой части спектра потенциальных полей.

3. Морфология, положение и размеры центральной части АН, которая выделяется существенно низкими значениями длинноволнового магнитного поля, ограничиваются системой субмеридиональных и субширотных линеаментов.

4. Особенности центральной части АН, а также проявленность её границ со смежными территориями комплементарны плану изоглубин кровли высокоскоростного слоя в основании литосферы, установленного при изучении латеральных сейсмических неоднородностей верхней мантии Сибирской платформы по профилям Рифт, Метеорит, Кратон [12].

5. Геофизические характеристики АН провинции согласуются с материалами томографии потенциальных полей по широтному профилю через район Далдынского поля (см. рис. 6, Б, В), которые показывают наличие «воронкообразной» мантийно-коровой структуры, выраженной в разрезе литосферы пониженными значениями избыточной плотности и намагничённости на фоне повышенных значений этих параметров [1].

6. Существенной является согласованность оценок по гравитационным и сейсмическим данным положения и мощности высокоплотного и высокоскоростного слоя, которая варьирует от 50 до 150 км (см. рис. 6, Б, Г) [1, 11, 12].

7. Представляется существенной физической реальностью (см. рис. 6, Б) субгоризонтальное, на уровне 200 ± 25 км, положение кровли относительно высокоплотного и высокоскоростного, достаточно однородного слоя до глубины 300 км и, возможно, ниже на отрезке профиля протяжённостью 750–800 км.

8. Комплексные геофизические материалы указывают на присутствие в литосфере АН провинции на глубинах 200–350 км и ниже устойчивого к внешним радиальным и латеральным тектономагматическим воздействиям слоя литосферы, который способствовал сохранности на протяжении 2–2,5 млрд лет вышерасположенного субстрата литосферы с отрицательными относительно смежных территорий значениями избыточной плотности и намагничённости.

Изложенные материалы, их интерпретация показывают, что территория Анабарской тектонической провинции Сибирской платформы в современных границах и состоянии (с исключением её северо-западной области) отвечает литосфере, которой в полном объёме соответствуют параметры

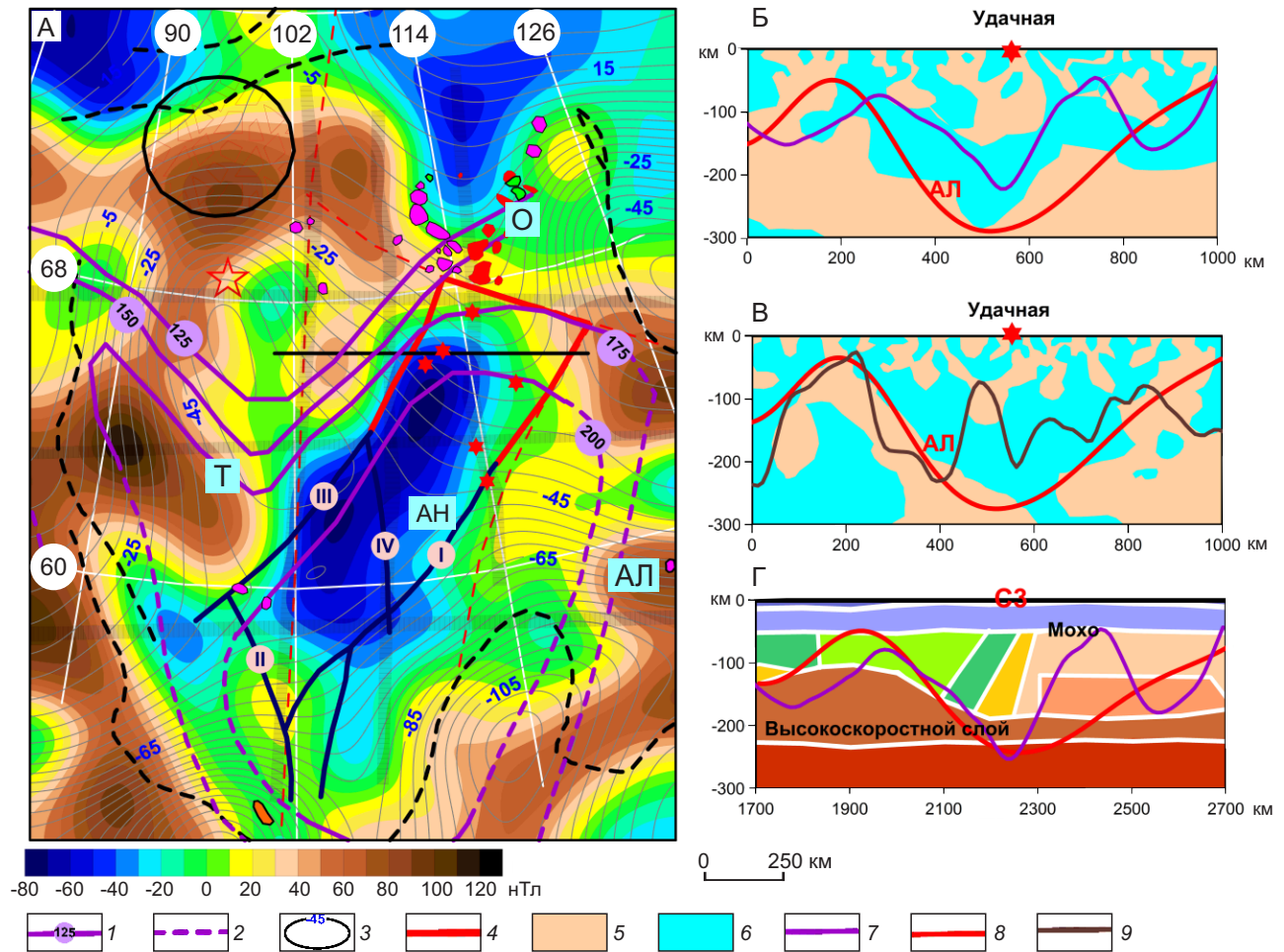


Рис. 6. Результирующие материалы обработки геофизических данных по территории СП: А – схематичные карты трендовых составляющих потенциальных полей (растр – магнитное поле, изоаномалы – гравитационное поле); Б – упрощённый томографический разрез распределения избыточной плотности через район Далдынского поля [1]; В – то же разрез распределения избыточной намагниченности [1]; Г – то же схематичный скоростной разрез [11]:

А: 1 – достоверные изолинии глубин до кровли высокоскоростного слоя и их отметки [12]; 2 – то же предполагаемые изолинии глубин [12]; 3 – изоаномалы трендовой составляющей гравитационного поля; 4 – прогнозируемое положение зон глубинных разломов АВРП; Б: области: 5 – положительных значений избыточных плотностей и намагниченности и 6 – отрицательных значений избыточных плотностей и намагниченности (АЛ – алмазоносная литосфера); график: 7 – второй компоненты низкочастотных извлечений гравитационного поля и 8 – трендовой составляющей магнитного поля; В: 9 – график третьей компоненты изменчивости низкочастотного магнитного поля; Г: СЗ – положение пункта мирного ядерного взрыва на профиле «Кратон» [11]

алмазоносного литосферного корня докембрийских кратонов (см. рис. 6, А).

Положение литосферного корня в целом коррелируется с Анабаро-Тунгусской филократонной СФО рифейского тектонического мегаэтапа СП [6]; с положением Ангарского, Усть-Кутского и, что важно, Центрального мегаблоков, выделенных на

основании комплексного изучения глубинного строения Сибирской платформы [23, рис. 7]; с границами максимального, до глубин 150–200 км, погружения астеносферного слоя, по данным МТЗ [23, рис. 9] и материалам других исследований. Знаковой представляется идентичность проявления (по морфологии, размерам, простиранью)

алмазоносного литосферного корня в магнитном поле СП отображению в магнитном поле алмазоносной территории Лак де Гра, расположенной на северо-западе Канады [1].

Фактом является тождественность положения, морфологии и размеров алмазоносного литосферного корня в юго-западной его части аналогичным параметрам АВРП СП, который как металлогеническая единица выделен и обоснован М. М. Одинцовым и его коллегами из ИЗК АН СССР [2], а предполагался ещё ранее В. С. Соболевым (1936). Отметим соответствие выделенных авторами монографии [2] глубинных зон разломов фундамента и чехла: Ангаро-Вилуйской (I), Ангаро-Ковинской (II), Катанга-Илимпейской (III) и Нижнетунгусской (IV) структурным особенностям низкочастотных потенциальных полей, приведённых на рис. 6 А. Комплементарность зон разломов особенностям линейных и нелинейных элементов среднечастотной части гравитационного поля иллюстрируется также на рис. 5 А, где наблюдается совпадение узлов пересечения Нижнетунгусской зоны с северо-восточными Ангаро-Вилуйской и Катанга-Илимпейской зонами с узлами пересечения Таймыро-Байкальского линеамента с субширотными линеаментами.

Выводы и прогноз-поисковые рекомендации. АВРП приурочен к юго-западному блоку центральной части АН провинции, которая является древним ядром платформы и обладает в максимальном объёме сохранившейся с архея алмазоносной литосферой.

1. Из очевидного геологического единства пространства этого блока с мантийной литосферой АН провинции следует целесообразность включения в состав АВРП северо-восточного сегмента АН, а обрамляющие рудный пояс Катанга-Илимпейскую (она же Тунгусско-Оленёкская и Далдыно-Оленёкская) с северо-запада и Ангаро-Вилуйскую (Мирнинско-Жиганскую) с юго-востока кимберлитоконтролирующие зоны глубинных разломов транслировать до северной границы АН провинции (см. рис. 6, А), где она отделяется от Оленёкской провинции Анабарской коллизонной системой (тектоно-гетероформационной шовной зоной по Маличу [6]). АВРП с ограничением на юго-западе Ангаро-Ковинской зоной разломов оправданно рассматривать совместно с Якутской алмазоносной субпровинцией как высокоалмазоносную Сибирскую провинцию, которая локализуется в пределах единого алма-

зоносного литосферного корня Сибирской платформы.

2. Приведённые материалы дают основание для прогноза выявления промышленно-алмазоносных кимберлитовых полей в пределах центральной части АН провинции и её ближайшего обрамления, в первую очередь, в зоне влияния Ангаро-Вилуйской системы глубинных разломов, где алмазоносная мантийная литосфера претерпела, если исходить из совокупности геофизических данных, менее значительное воздействие термальных раннепротерозойских и позднее палеозойских мантийно-плюмовых процессов. Прогнозный потенциал нужно связывать, что широко известно, с зонами корово-мантийных разломов как в пределах, так и в обрамлении алмазоносного литосферного корня.

3. Высокая алмазоносность кимберлитов Накынского поля, специфичность состава кимберлитов трубок (низкий уровень некогерентных элементов и др.) обусловлены, возможно, максимальной удалённостью поля от центра палеопротерозойских мантийно-плюмовых процессов, а также его расположением к востоку от линеамента 114° в. д., который как диссипативная система способствовал уменьшению термального воздействия плюмовой деятельности на алмазоносную литосферу рассматриваемой территории. Ряд атрибутов потенциальных полей в районе Накынского поля (северо-восточный «угол» АН провинции, восточнее 114° в. д.) характеризуется структурно-динамическими параметрами, существенно отличными от их оценок в других областях провинции (см. рисунки 3, А, 5, А). Можно допустить, что здесь наблюдается неизменный палеозойскими плюм-мантийными событиями реликт архейской литосферы, со своей, отличной от расположенных к западу субмеридиональных «доменов» Сибирской платформы, ранней историей формирования и развития.

4. Палеопротерозойские, а позднее палеозойские, мантийно-плюмовые процессы в пределах Оленёкской тектонической провинции привели к изменению её литосферы: уменьшению мощности, изменению состава, обогащению мафическими минералами, сокращению мощности ГГС и его погружению, подъёму кровли астеносферы. Отмеченные изменения состава и структуры литосферы провинции наглядно проступают в пространственном соотношении трендовых составляющих потенциальных полей в пределах

провинции (см. рис. 6). Нижне-Оленёкская и Куонапская группы кимберлитовых полей тяготеют к градиентным зонам крупного максимума поля силы тяжести, сопряжённого с минимумом магнитного поля. Этот классический структурный ансамбль геофизических полей указывает на значительный подъём кровли астеносферы в центральной части Уджинского палеорифта и встречное погружение коры, с одной стороны, на образование мощных немагнитных рифейских отложений в рифтовой системе, с другой стороны, что наряду с геологическими данными свидетельствует о приуроченности кимберлитов и кимберлитоподобных пород провинции к плечевым частям рифтовой зоны [6]. Геофизические данные, характеризующие глубинные особенности строения литосферы Оленекской провинции, не дают оснований для положительного прогноза в части выявления в её пределах промышленно-алмазных кимберлитовых трубок.

5. Геофизические материалы указывают на существование в архее единого континента, который в связи с раннепротерозойскими мантийно-плюмовыми процессами испытал мощный внутриконтинентальный рифтогенез. Проторифтогенез привёл к структурированию и дифференциации геологического пространства СП с признаками очагово-веерной и линеаментной упорядоченности разномасштабных СВК. В силу эредитарности геологической среды последствия мантийно-плюмовых событий проявлены повсеместно в облике различных трансформаций потенциальных полей, которые свидетельствуют о широком развитии линейных складчатых структур фундамента и их вполне закономерной упорядоченности. Геофизические данные как отражение физико-геологической реальности не дают оснований рассматривать тектонические зоны (Саяно-Таймырскую, Котуйканскую, Маганскую

и др.) как сuture в их классическом понимании с позиции плейт-тектонической концепции – коллизионные швы, маркирующие закрытие палеоокеанических бассейнов.

6. В минимальной степени палеопротерозойские и палеозойские мантийно-плюмовые процессы затронули АН провинцию, где фиксируется иной структурный облик складчатого фундамента: здесь в северной её части отмечаются реликты, а на юге – значительные области, где в структуре фундамента доминируют слабодифференцированные по латерали субмеридионально-ориентированные складчатые образования, по видимому, с блоками протокоры и первичной мантийной литосферы (см. рис. 3). Отличительные от окружающих провинций геофизические характеристики мантийной алмазоносной литосферы АН (низкий уровень изменчивости потенциальных полей, пониженный уровень гравитационного и низкий магнитного поля, низкий уровень теплового потока и низкая электропроводность, повышенные скорости сейсмических волн) можно объяснить значительной долей в составе её субстрата литофильных элементов. Глобальное распространение в составе мантийной литосферы оливина приводит к предположению, что геофизические характеристики алмазоносной литосферы АН провинции определяются, прежде всего, существенной долей форстеритовой компоненты в оливине, что и обуславливает повышенную магнезиальность ультраосновных пород, их относительную облегчённость, низкую железистость и др. Смена состава оливина, обогащение фаялитовой компонентой обусловили формирование высокоплотностного и высокоскоростного основания («плотика») литосферы, который существенно уменьшил воздействие астеносферы на алмазоносную часть литосферы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алексеев С. Г., Бочков П. А., Сенчина Н. П., Штоколенко М. Б.* Визуализация в потенциальных полях мантийно-коровых структур, контролирующей кимберлитовый и лампроитовый магматизм // Смирновский сборник. – М. : МАКС Пресс, 2018. – С. 292–308.
2. *Ангаро-Виллюйский* рудный пояс Сибирской платформы // М. М. Одинцов, В. Г. Домышев, Л. Г. Страхов и др.; Отв. ред. Ф. А. Летников. – Новосибирск : Наука, 1980. – 109 с.
3. *Башарин А. К., Беляев С. Ю., Хоменко А. В.* Северо-Азиатский кратон и Сибирская платформа: современная структура // Тихоокеанская геология. – 2005. – Т. 24, № 6. – С. 3–15.

4. Булин Н. К., Булина Л. В., Драгунов В. И. Глубинные зоны растяжения Сибирской платформы // Доклады РАН. – 2001. – Т. 381, № 1. – С. 82–87.
5. Витте Л. В., Василевский А. Н., Павлов Е. В. Региональные магнитные и гравитационные аномалии Сибирского кратона и их геологическая природа // Геофизический журнал. – 2009. – Т. 31, № 6. – С. 21–38.
6. Геология и полезные ископаемые России. В 6 томах. Том 3. Восточная Сибирь / Ред. Н. С. Малич. – СПб. : Изд-во ВСЕГЕИ, 2002. – 396 с.
7. Золотухин В. В., Малюк Б. И. Проблемы петрологии ассоциирующих вулканогенных базитов и ультрабазитов древних платформ и их никеленосности (на примере коматиитов, коматиитоподобных пород и базальтов) / Науч. ред. Г. В. Поляков. – Новосибирск : Филиал «Геш» Издательства СО РАН, Издательский дом «Манускрипт», 2001. – 242 с.
8. Красный Л. И. Глобальная система геоблоков. – М. : Недра, 1984. – 224 с.
9. Мартышко П. С., Ладовский И. В., Федорова Н. В., Бызов Д. Д., Цидаев А. Г. Теория и методы комплексной интерпретации геофизических данных. – Екатеринбург : УрО РАН, 2001. – 94 с.
10. Мартюшев Л. М., Селезнев В. Д. Принцип максимального производства энтропии в физике и смежных областях. – Екатеринбург : ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2006. – 83 с.
11. Мельник Е. А., Суворов В. Д., Павлов Е. В. Латеральные сейсмические неоднородности верхней мантии под Сибирским кратоном // Геодинамика. Геомеханика и геофизика: Материалы IXX Всероссийской конференции. – Новосибирск : ИНГТ СО РАН, 2019. – С. 21–23.
12. Мельник Е. А., Суворов В. Д., Павлов Е. В. Латеральные сейсмические неоднородности верхней мантии под Сибирским кратоном // Междунар. науч. конф. «Недропользование. Горное дело. Направления и технологии поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых. Экономика. Геоэкология»: Сборник материалов в 4 томах. – Новосибирск : СГУГиТ, 2017. – Т. 4. – С. 3–7.
13. Милановский Е. Е. Рифтогенез в истории Земли (рифтогенез на древних платформах). – М. : Недра, 1983. – 280 с.
14. Мушин И. А., Бродов Л. Ю., Козлов Е. А., Хатьянов Ф. И. Структурно-формационная интерпретация сейсмических данных. – М. : Недра, 1990. – 299 с.
15. Мясников Ф. В. Алмазоносная литосфера Сибирской платформы (по геофизическим данным). Тектоническое районирование // Отечественная геология. – 2022. – № 6. – С. 64–75.
16. Мясников Ф. В. Глубинные критерии кимберлитового магматизма Якутской алмазоносной провинции с позиции нелинейной геологии // Разведка и охрана недр. – 2020. – № 7. – С. 8–20.
17. Розен О. М. Сибирский кратон: тектоническое районирование, вопросы эволюции // Геотектоника. – 2003. – № 3. – С. 1–19.
18. Семинский Ж. В. Эндогенно-рудные системы Юго-Восточной Сибири в инверсионном слое земной коры // Известия Сибирского отделения секции наук о Земле РАЕН. – 2015. – № 2 (51). – С. 5–18.
19. Суворов В. Д. Глубинные сейсмические исследования в Якутской кимберлитовой провинции. – Новосибирск : Наука, 1993. – 136 с.
20. Тектоника, геодинамика и металлогения территории Республики Саха (Якутия) / Отв. ред. Л. М. Парфенов, М. И. Кузьмин. – М. : Наука/Интерпериодика, 2001. – 571 с.
21. Чернышев Н. М., Бокая Л. И. Морфоструктурные элементы консолидированной коры Сибирской платформы // Структурные элементы земной коры и их эволюция. – Новосибирск : Наука, 1983. – С. 144–151.
22. Чиков Б. М. Проблемы геологической интерпретации сейсмоочаговых систем земной коры (геомеханика и тектонофизический анализ) // Геодинамика и тектонофизика. – 2010. – Т. 1, № 3. – С. 231–248.
23. Эринчек Ю. М., Мильштейн Е. Д., Колесник Н. Н. Глубинное строение и геодинамика районов проявления кимберлитового магматизма на Сибирской платформе // Региональная геология и металлогения. – 2000. – № 10. – С. 209–228.

REFERENCES

1. Alekseyev S. G., Bochkov P. A., Senchina N. P., Shtokolenko M. B. Vizualizatsiya v potentsial'nykh polyakh mantiyno-korovykh struktur, kontroliruyushchikh kimberlitovyy i lamproitovyy magmatizm [Visualization in potential fields of mantle-crustal structures controlling kimberlite and lamproite magmatism]. Smirnovskiy sbornik, Moscow, MAKS Press publ., 2018, pp. 292–308. (In Russ.)
2. Angaro-Vilyuyskiy rudnyy pooyas Sibirskoy platform [Angara-Vilyui ore belt of the Siberian Platform], M. M. Odintsov, V. G. Domyshev, L. G. Strakhov, F. A. Letnikov et al., Novosibirsk, Nauka publ., 1980, 109 p. (In Russ.)
3. Basharin A. K., Belyayev S. Yu., Khomenko A. V. Severo-Aziatskiy kraton i Sibirskaya platforma:

- sovremennaya struktura [North Asian craton and Siberian platform: modern structure], Tikhookeanskaya geologiya, 2005, V. 24, No. 6, pp. 3–15. (In Russ.)
4. *Bulin N. K., Bulina L. V., Dragunov V. I.* Glubinnyye zony rastyazheniya Sibirskoy platformy [Deep extension zones of the Siberian Platform], Doklady RAN, 2001, V. 381, No. 1, pp. 82–87. (In Russ.)
 5. *Vitte L. V., Vasilevskiy A. N., Pavlov Ye. V.* Regional'nyye magnitnyye i gravitatsionnyye anomalii Sibirskogo kratona i ikh geologicheskaya priroda [Regional magnetic and gravitational anomalies of the Siberian craton and their geological nature], Geofizicheskiy zhurnal, 2009, V. 31, No. 6, pp. 21–38. (In Russ.)
 6. *Geologiya i poleznye iskopayemyye Rossii. V 6 tomakh. Tom 3. Vostochnaya Sibir'* [Geology and minerals of Russia. In 6 volumes. Volume 3. Eastern Siberia], Ed. N. S. Malich, St. Petersburg, VSEGEI publ., 2002, 396 p. (In Russ.)
 7. *Zolotukhin V. V., Malyuk B. I.* Problemy petrologii assotsiruyushchikh vulkanogennykh bazitov i ul'trabazitov drevnikh platform i ikh nikelenosnosti (na primere komatiitov, komatiitopodobnykh porod i bazal'tov) [Problems of petrology of associated volcanogenic mafic and ultrabasic rocks of ancient platforms and their nickel content (on the example of komatiites, komatiitelike rocks and basalts)], Ed. G. V. Polyakov, Novosibirsk, Gesh publ., Manuscript publ., 2001, 242 p. (In Russ.)
 8. *Krasnyy L. I.* Global'naya sistema geoblokov [Global system of geoblocks], Moscow, Nedra publ., 1984, 224 p. (In Russ.)
 9. *Martyshko P. S., Ladovskiy I. V., Fedorova N. V., Byzov D. D., Tsidayev A. G.* Teoriya i metody kompleksnoy interpretatsii geofizicheskikh dannykh [Theory and methods of complex interpretation of geophysical data], Yekaterinburg, UrO RAN publ., 2001, 94 p. (In Russ.)
 10. *Martyushev L. M., Seleznev V. D.* Printsip maksimal'nogo proizvodstva entropii v fizike i smezhnykh oblastyakh [The principle of maximum entropy production in physics and related fields], Yekaterinburg, GOU VPO UGTU-UPI publ., 2006, 83 p. (In Russ.)
 11. *Mel'nik Ye. A., Suvorov V. D., Pavlov Ye. V.* Lateral'nyye seysmicheskiye neodnorodnosti verkhney mantii pod Sibirskim kratonom [Lateral seismic inhomogeneities of the upper mantle under the Siberian Craton], Geodinamika. Geomekhanika i geofizika: Materialy IXX Vserossiyskoy konferentsii [Geomechanics and Geophysics: Proceedings of the IXX All-Russian Conference], Novosibirsk, INGG SO RAN publ., 2019, pp. 21–23. (In Russ.)
 12. *Mel'nik Ye. A., Suvorov V. D., Pavlov Ye. V.* Lateral'nyye seysmicheskiye neodnorodnosti verkhney mantii pod Sibirskim kratonom [Lateral seismic inhomogeneities of the upper mantle under the Siberian Craton], Nedropol'zovaniye. Gornoye delo. Napravleniya i tekhnologii poiska, razvedki i razrabotki mestorozhdeniy poleznykh iskopayemykh. Ekonomika. Geoekologiya [Subsoil use. Mining engineering. Directions and technologies of prospecting, exploration and development of mineral deposits. Economy. Geoecology] Collection of materials in 4 volumes, Novosibirsk, SGUGiT, 2017, V.4, pp. 3–7. (In Russ.)
 13. *Milanovskiy Ye. Ye.* Riftogenez v istorii Zemli (riftogenez na drevnikh platformakh) [Rifting in the history of the Earth (rifting on ancient platforms)], Moscow, Nedra publ., 1983, 280 p. (In Russ.)
 14. *Mushin I. A., Brodov L. Yu., Kozlov Ye. A., Khat'yanov F. I.* Strukturno-formatsionnaya interpretatsiya seysmicheskikh dannykh [Structural-formational interpretation of seismic data], Moscow, Nedra publ., 1990, 299 p. (In Russ.)
 15. *Myasnikov F. V.* Almazonosnaya litosfera Sibirskoy platformy (po geofizicheskim dannym). Tektonicheskoye rayonirovaniye [Diamond-bearing lithosphere of the Siberian platform (according to geophysical data). Tectonic zoning], Otechestvennaya geologiya [Domestic Geology], 2022, No. 6, pp. 64–75. (In Russ.)
 16. *Myasnikov F. V.* Glubinnyye kriterii kimberlitovogo magmatizma Yakutskoy almazonosnoy provintsii s pozitsii nelineynoy geologii [Depth criteria for kimberlite magmatism in the Yakutsk diamondiferous province from the standpoint of nonlinear geology], Razvedka i okhrana nedr, 2020, No. 7, pp. 8–20. (In Russ.)
 17. *Rozen O. M.* Sibirskiy kraton: tektonicheskoye rayonirovaniye, voprosy evolyutsii [Siberian craton: tectonic zoning, questions of evolution], Geotektonika, 2003, No. 3, pp. 1–19. (In Russ.)
 18. *Seminskiy Zh. V.* Endogenno-rudnyye sistemy Yugo-Vostochnoy Sibiri v inversionnom sloye zemnoy kory [Endogenous-ore systems of South-Eastern Siberia in the inversion layer of the earth's crust], Izvestiya Sibirskogo otdeleniya seksii nauk o Zemle RAYEN, 2015, No. 2 (51), pp. 5–18. (In Russ.)
 19. *Suvorov V. D.* Glubinnyye seysmicheskiye issledovaniya v Yakutskoy kimberlitovoy provintsii [Deep seismic studies in the Yakutsk kimberlite province], Novosibirsk, Nauka publ., 1993, 136 p. (In Russ.)
 20. *Tektonika, geodinamika i metallogeniya territorii Respubliki Sakha (Yakutiya)* [Tectonics, geodynamics and metallogeny of the territory of the Republic of Sakha (Yakutia)], Ed. L. M. Parfenov, M. I. Kuz'min, Moscow, Nauka/Interperiodika publ., 2001, 571 p. (In Russ.)
 21. *Chernyshev N. M., Bokaya L. I.* Morfostrukturnyye elementy konsolidirovannoy kory Sibirskoy platformy. Strukturnyye elementy zemnoy kory i ikh evolyutsiya [Morphostructural elements of the consolidated crust of the Siberian Platform. Structural elements of the earth's crust and their evolution], Novosibirsk, Nauka publ., 1983, pp. 144–151. (In Russ.)

22. *Chikov B. M.* Problemy geologicheskoy interpretatsii seysmoochagovykh sistem zemnoy kory (geomekhanika i tektonofizicheskiy analiz) [Problems of geological interpretation of seismic source systems of the Earth's crust (geomechanics and tectonophysical analysis)], *Geodinamika i tektonofizika*, 2010, V. 1, No. 3, pp. 231–248. (In Russ.)
23. *Erinchek Yu. M., Mil'shteyn Ye. D., Kolesnik N. N.* Glubinnoye stroyeniye i geodinamika rayonov pro-yavleniya kimberlitovogo magmatizma na Sibirskoy platfome [Deep structure and geodynamics of kimberlite magmatism areas on the Siberian Platform], *Regional'naya geologiya i metallogeniya*, 2000, No. 10, pp. 209–228. (In Russ.)

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

Статья поступила в редакцию 15.12.22; одобрена после рецензирования 16.01.23; принята к публикации 17.01.23.
The article was submitted 15.12.22; approved after reviewing 16.01.23; accepted for publication 17.01.23.

Памяти Владимира Викторовича Козлова



В 2022 г. на 92-м году ушёл из жизни **Владимир Викторович Козлов** – доктор геолого-минералогических наук, лауреат Государственной премии СССР, действительный член Российской академии космонавтики и почётный член Российского геологического общества.

В. В. Козлов являлся одним из активных участников обучения космонавтов визуальным наблюдениям с орбиты геологических объектов земли. Для этого он совершил 12 учебных полётов на самолётах с будущими космонавтами по территории СССР. Совместно с Госцентром «Природа» он разработал методические рекомендации по применению космической информации для изучения природных ресурсов. Особое место в его научных исследованиях занимала космическая геология, которая возникла во второй половине XX в., после запуска космических аппаратов на околоземные орбиты. В. В. Козловым и Е. Д. Сулиди-Кондратьевым была составлена тектоническая карта обратной стороны Луны. Это уникальная карта была выпущена в 1969 г. объединением «НИЛ Зарубежгеология». В 1984 г. в издательстве «Недра» вышла книга В. В. Козлова «Геологи изучают планеты».

Большой вклад В. В. Козлов внёс в изучение региональной геологии, проведение геологической съёмки и поиски полезных ископаемых зарубежных стран. Он в составе группы геологов СССР работал по оказанию технического содействия Сирии и Алжиру в проведении комплекса геологоразведочных работ. В Сирии Владимир Викторович проводил геологическую съёмку, участвовал в составлении геологической карты Сирии, в поисках месторождений фосфатов, железных руд, строительных материалов, нефти и газа. По результатам работ опубликована монография «Геология и полезные ископаемые Сирии». В Алжире проводилась геологическая съёмка, выявлены перспективные районы, рудопроявления, выполнены геологоразведочные работы на месторождениях полиметаллов, ртути, барита и фосфатов.

В. В. Козловым опубликовано более 450 научных, научно-популярных работ и мемуаров. Он составлял геологические карты для Национального атласа России, писал статьи по планетологии и космосу для Российской геологической энциклопедии.

В. В. Козлов был верным товарищем, внимательным и отзывчивым к своим коллегам, имел широкий круг общения со специалистами, учёными, космонавтами и общественными деятелями, которым посвятил свою книгу «С памятливыми встречами» (2010 г.). Его опыт, результаты геологических исследований и рекомендации, изложенные в опубликованных работах, будут безусловно полезными для геологов нового поколения.

Светлая память о В. В. Козлове, замечательном человеке, видном учёном, отзывчивом товарище и друге навсегда сохранится в наших сердцах

Президиум Исполкома Российского геологического общества, коллеги, друзья, ученики

Памяти Ирины Зигмундовны Исакович



24.06.1934–24.01.2023

24 января 2023 г. ушла из жизни **Ирина Зигмундовна Исакович** – известный специалист в области минералогии полиметаллических и золотых месторождений, кандидат геолого-минералогических наук, проработавшая в ЦНИГРИ 45 лет (1966–2011 гг.).

Алтая». В последующие годы она продолжила исследования полиметаллических месторождений Рудного Алтая, Кавказа и Якутии.

С 1982 г. Ирина Зигмундовна занималась разработкой методики минералогических методов поисков и оценки золоторудных месторождений различных формационных типов на объектах Северо-Востока Российской Федерации, Северного и Восточного Казахстана, Северного Урала, Закарпатья. Итоги этих работ изложены в целом ряде научных статей и коллективной монографии «Комплексная петрографо-минералого-геохимическая методика поисков золоторудных месторождений». Практическим результатом этих исследований явилось выявление новых рудных тел (Наталкинское рудное поле), новых подсечений с промышленными содержаниями металла и новых рудоносных зон (Васильковское рудное поле, Северный Казахстан).

В этот период она развивает новое направление в поисковой минералогии, заключающееся в комплексном анализе ореолов нерудной и сульфидной минерализации с выходом на ряд важных прогнозно-поисковых и оценочных критериев. Для этого была привлечена новая нетрадиционная методика картирования ореолов нерудной прожилковой минерализации, оказавшаяся высокоэффективным инструментом прослеживания и оценки рудоконтролирующих структур, в том числе по материалам старых документаций скважин. На основе картирования нерудной прожилковой и сульфидной минерализации в однородных полях в пределах Береговского рудного поля (Закарпатье) удалось выделить конкретные рудоносные зоны, определить их положение в пространстве, наметить места изгибов и выклиниваний, что в конечном счёте определило основу для проведения глубинных поисков в данном районе. Результаты этих работ обобщены в монографии «Ореолы нерудной прожилковой минерализации на полиметаллических и золоторудных месторождениях и их прогнозно-поисковое значение», вышедшей в 2009 г.

В последующие годы Ирина Зигмундовна участвовала в разработке минералого-геохимических критериев поисков золоторудных месторождений в черносланцевых комплексах (Енисейский кряж, Патомское нагорье).

Ирина Зигмундовна окончила Московский геологоразведочный институт (МГРИ) в 1956 г. До 1958 г. работала в производственной геологической организации Красноярского геологического управления, затем на кафедре методики поисков и разведки МГРИ (1957–1958 гг.). В 1958 году уехала с мужем в КНР, где работала преподавателем минераграфии на кафедре полезных ископаемых Пекинского геологоразведочного института. В 1966 г. Ирина Зигмундовна была вынуждена возвратиться в Москву, где с апреля начала работать в ЦНИГРИ.

Основными направлениями её научной деятельности были изучение геологии, минералогии полиметаллических месторождений и разработка минералогических методов их поисков и оценки. В 1972 г. на основании изучения колчеданно-полиметаллических месторождений Рудного Алтая была подготовлена и защищена кандидатская диссертация на тему «Минеральные ассоциации, золотоносность и некоторые особенности формирования полиметаллических месторождений Змеиногогорского и Лениногорского районов Рудного

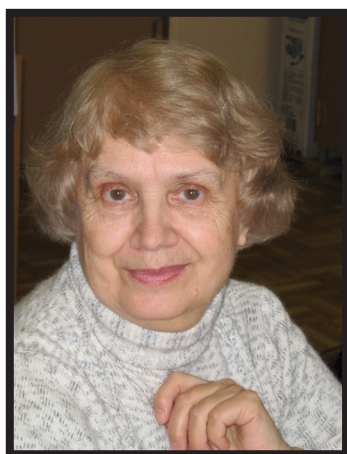
Ирина Зигмундовна автор более 100 научных трудов, в том числе 7 монографий. Во всех публикациях содержатся результаты её личных очень качественных исследований, которые не потеряют своей актуальности многие-многие годы. Её всегда отличал высокий профессионализм, трудолюбие, целеустремлённость в достижении поставленной цели. Она очень любила свою профессию и гордилась тем, что она геолог. Ирина Зигмундовна была творчески одарённым человеком, всю жизнь писала стихи «для себя», в которых выражала чувства, отношение к разным событиям.

Ирина Зигмундовна была очень доброжелательной, общительной, у неё всегда находилось доброе слово для каждого, кто к ней обращался и пользовалась заслуженным уважением коллектива. Она воспитала прекрасного сына – выдающегося хирурга, оказавшего профессиональную помощь многим людям, в том числе сотрудникам ЦНИГРИ.

Ирина Зигмундовна Исакович прожила долгую, интересную, чрезвычайно содержательную и непростую жизнь. Она очень любила Россию, искренне переживая все негативные исторические зигзаги её развития и профессионально делала всё для её процветания. Вся многогранная научная деятельность И. З. Исакович была тесно связана с практикой и служила главной цели отечественной геологической службы – развитию минерально-сырьевой базы страны.

Дирекция, Учёный Совет ФГБУ «ЦНИГРИ»

Памяти Алефтины Николаевны Некрасовой



19.02.1935–11.03.2023

11 марта 2023 года ушла из жизни **Алефтина Николаевна Некрасова**, кандидат геолого-минералогических наук, ветеран труда, ветеран ЦНИГРИ.

Алефтиной Николаевной был составлен банк данных по золоторудным и золото-серебряным месторождениям и впервые определена информационная значимость типоморфных признаков самородного золота, что стало основой для разработки признаков моделей самородного золота основных рудно-формационных типов месторождений. А. Н. Некрасовой получены новые данные о недостаточно изученном россыпеобразующем потенциале золото-серебряных месторождений.

Алефтина Николаевна Некрасова – один из авторов монографии «Самородное золото рудных и россыпных месторождений России» и методических рекомендаций «Типоморфизм самородного золота».

За успешное проведение минералогических исследований в Республике Алжир А. Н. Некрасова была награждена медалью «За трудовое отличие».

Многолетние детальные исследования А. Н. Некрасовой способствовали созданию и расширению минерально-сырьевой базы нашей страны.

В нашей памяти Алефтина Николаевна Некрасова навсегда останется как блестящий эрудированный геолог, влюбленный в свою профессию, скромный, доброжелательный и отзывчивый человек, готовый помочь советом и делом.

После окончания МГУ Алефтина Николаевна 10 лет работала в Северо-Восточном геологическом управлении, где изучала вещественный состав и минералогию руд ртутных и золото-серебряных месторождений, уделяя особое внимание вопросам минеральной зональности. Ее исследования внесли значительный вклад в оценку перспектив месторождения Карамкен.

В ЦНИГРИ А. Н. Некрасова трудилась почти 40 лет – с 1973 по 2011 год. Ее работы были посвящены изучению минералогии золото-серебряных месторождений Охотско-Чукотского вулканогенного пояса, Камчатки и Якутии, где она первая определила месторождения этого типа как олово-серебряные. Алефтина Николаевна исследовала вещественный состав золоторудных объектов Приполярного Урала и ряда других регионов, что позволило ей провести сравнительный анализ состава руд и зональности месторождений золота различных рудно-формационных типов. Алефти-

Коллеги, редакция журнала

Требования к авторам статей

1. Рукопись представляется с установленными сопровождающими документами: письмом (решением на опубликование) руководителя учреждения и экспертным заключением о возможности публикации в открытой печати. В конце статьи ставятся подписи всех авторов. В том случае, если автор не один, надо указать фамилию автора, с которым будет вестись переписка.

2. К материалам, направляемым в редакцию, должна быть приложена справка об авторе (авторах) с указанием: фамилии, имя, отчества, ученой степени, звания, должности, места работы, адреса для переписки (почтового), телефона, e-mail каждого автора.

3. Научные статьи, поступившие в редакцию, подлежат обязательному рецензированию с целью их экспертной оценки. В случае отклонения статьи (отрицательная рецензия) редакция направляет авторам рецензию или мотивированный отказ за подписью главного редактора; редколлегия не вступает в дискуссию с авторами отклоненных статей; статьи, отклоненные редколлекцией, повторно не рассматриваются.

4. В журнале не публикуются статьи, излагающие обобщения и предположения, не вытекающие из публикуемого оригинального фактического материала; серийные и излагающие отдельные этапы исследований.

5. Объем статьи не должен превышать 20 страниц, включая таблицы и список литературы. Следует выставлять поля: сверху (2 см), снизу (2 см), справа (1 см) и слева (3 см). Все страницы рукописи нумеруются. Текст предоставляется в формате MS Word (*.doc) с использованием шрифта Times New Roman (размер 12, полуторный межстрочный интервал). В отдельные файлы помещаются статья, таблицы. Возможна передача статей по электронной почте: ogeo@tsnigri.ru

6. Для набора математических формул и химических символов рекомендуется использовать Microsoft Equation 2.0.

7. Список литературы дается сквозной нумерацией в алфавитном порядке. Иностранная литература помещается после отечественной. Ссылки в тексте на источник из списка литературы приводятся соответствующим порядковым номером в квадратных скобках. В список не включаются неопубликованные работы.

8. Рисунки и другие графические материалы (не более 7) представляются в цветном или черно-белом варианте. Размер оригиналов рисунков не должен превышать формата страницы журнала (170×237 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 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 (текстовый файл, после списка литературы). Рисунки, не удовлетворяющие требованиям редакции, возвращаются автору.

9. Редакция оставляет за собой право сокращать и редактировать название статьи, текст, рисунки.

10. Статьи, превышающие установленный объем или не отвечающие данным требованиям, возвращаются автору.