

ОТЕЧЕСТВЕННАЯ ГЕОЛОГИЯ

№ 5 / 2025

Основан в марте 1933 года

Журнал выходит шесть раз в год

УЧРЕДИТЕЛИ



Министерство природных ресурсов и экологии
Российской Федерации



Российское геологическое общество



Центральный научно-исследовательский
геологоразведочный институт
цветных и благородных металлов

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор:
А.И.Иванов

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

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

Содержание

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| МЕСТОРОЖДЕНИЯ РУДНЫХ И НЕРУДНЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ | РЕГИОНАЛЬНАЯ ГЕОЛОГИЯ |
| <i>Иванов А. И., Куликов Д. А., Агибалов О. А., Тарасов А. С., Звездов В. С., Мигачёв И. Ф., Конкин В. Д., Барышев А. Н.</i> Техногенные россыпи: условия формирования, фак- торы, определяющие потери, особенности методики разведки 3 | <i>Мигачев И. Ф., Звездов В. С., Конкин В. Д., Куликов Д. А.</i> Тектоническая позиция и возможные геодинамиче- ские обстановки формирования вулcano-плутони- ческих поясов с медно-порфировым оруденением 80 |
| <i>Серавина Т. В.</i> Некоторые особенности формирования колчеданно- полиметаллических месторождений типа VMS Большого Алтая 16 | ИНТЕРВЬЮ С ЧЛЕНОМ РЕДКОЛЛЕГИИ |
| ПЕТРОЛОГИЯ, МИНЕРАЛОГИЯ, ГЕОХИМИЯ, ЛИТОЛОГИЯ | <i>Старостин В. И., Сидорова Е. В.</i> «Мемуары пока не написаны» К 90-летию профессора Виктора Ивановича Ста- ростина, заведующего кафедрой геологии, геохимии и экономики полезных ископаемых геологического факультета МГУ им. М. В. Ломоносова 93 |
| <i>Позднякова Н. Н., Зубова Т. П.</i> Шлихоминералогический анализ при поисках золо- торудных месторождений: опыт, развитие и акту- альность 46 | ПАМЯТНЫЕ ДАТЫ |
| <i>Голдырев В. Н., Осовецкий Б. М., Горяков К. И.</i> Геолого-структурная и минералого-геохимическая модели золото-серебряного оруденения валунисто- го рудного района (Чукотский АО) 60 | 90-летие Александра Николаевича Барышева 107 |

Редакция: *Т. М. Папеско, А. П. Фунтикова*
Компьютерная верстка: *В. Р. Марченко, С. В. Жуков*

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 09.12.2025

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

Телефон: (495) 315-43-65, доб. 272. E-mail: ogeo@tsnigri.ru

Сайт: <https://og.tsnigri.ru/>

Типография ФГБУ «ЦНИГРИ»

Техногенные россыпи: условия формирования, факторы, определяющие потери, особенности методики разведки

Аннотация. Рассмотрены особенности строения и вещественного состава техногенного россыпного комплекса, условия формирования техногенных россыпей и основные горно-геологические факторы, определяющие уровень потерь в ходе эксплуатации целиковых россыпей. Даны рекомендации по проведению разведки и подсчёта запасов в зависимости от наличия достоверных и достаточных статистических данных по отработке первичной россыпи. На основе анализа производственных отчётов и научно-исследовательских работ по разведке техногенных россыпей обобщены данные по выбору рационального объёма рядовых и валовых проб, техническим средствам их отбора и системам разведки.

Ключевые слова: техногенные россыпи золота и МПГ, торфа, галя, эфеля, технологические и эксплуатационные потери, подсчёт запасов.

ИВАНОВ АНАТОЛИЙ ИННОКЕНТЬЕВИЧ, доктор геолого-минералогических наук, и. о. генерального директора, tsnigri@tsnigri.ru

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

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

ТАРАСОВ АЛЕКСАНДР СЕРГЕЕВИЧ, начальник отдела, tarasov@tsnigri.ru

ЗВЕЗДОВ ВАДИМ СТАНИСЛАВОВИЧ, доктор геолого-минералогических наук, начальник отдела, zvezdov@tsnigri.ru

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

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

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

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

Technogenous placers: The formation conditions, losses-determining factors, and peculiarities of the exploration methodology

A. I. IVANOV, D. A. KULIKOV, O. A. AGIBALOV, A. S. TARASOV, V. S. ZVEZDOV, I. F. MIGACHEV, V. D. KONKIN, A. N. BARYSHEV

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

Abstract. This article examines the structural and compositional features of technogenous placer complexes, the formation conditions of technogenous placers, and the principal mining and geological factors determining the amount of losses during exploitation of primary placers. Recommendations are presented for the exploration and reserve calculation of such placers, depending on availability of reliable and sufficient statistical data on the primary placer ope-

rations. Based on an analysis of practical reports and thematic studies on the exploration of technogenous placers, the data on choosing a rational volume of ordinary and bulk samples, on technical equipment for the sampling, and on the exploration systems are generalized.

Key words: technogenous gold and PGM placers, overburden, gravel, tails, technological and operational losses, reserve calculation.

Техногенные россыпи (ТР) являются резервом увеличения сырьевой базы россыпного золота, значимость которого постоянно повышается в связи с отработкой богатых и легкодоступных россыпей. Под ТР понимаются отходы недропользования, вскрышные и вмещающие горные породы, образованные в результате пользования участком недр, содержащие шлиховое золото и (или) МПГ, включая недоработки остаточных частей целиковой первичной россыпи, которые в соответствии с заключением государственной экспертизы запасов полезных ископаемых не имеют самостоятельного промышленного значения [7].

По данным ряда исследователей [1, 4, 8] (Петунина, 2012), в техногенных россыпях находятся от 10–15 до 50 % (иногда больше) содержащегося (по данным ГРР) в первичной россыпи металла. С учётом того, что за всю историю российской золотодобычи в отработку было вовлечено более 4000 россыпей, не считая множества мелких объектов, можно оценить масштаб проблемы освоения ТР как весьма значительный.

Характер распределения и содержания полезного компонента, горно-геологические свойства (гранулометрический, вещественный состав, обводнённость и др.), морфологические особенности залегания определяются, с одной стороны, свойствами первичной россыпи, с другой, условиями формирования (способом отработки) ТР.

В зависимости от гранулометрического и литологического состава выделяют следующие виды составляющих ТР отвалов: торфа (вскрышные породы), эфеля и галя (перемытые золотоносные пески), илисто-глинистый материал отстойников, перебутор (многократно перемытые и частично рекультивированные отвалы).

Торфяные отвалы (торфа) образуются при вскрышных работах в процессе эксплуатации россыпных месторождений открытым раздельным способом. Отвалы вскрышных пород в ТР

на порядок больше всех других видов отвалов вместе взятых. Золото попадает в торфяные отвалы путём выброса его из некондиционных интервалов в момент отработки, особенно в нижних частях россыпей, где металл распределяется практически по всему разрезу.

При разведке целиковых россыпей скважинами часто отмечалась погрешность нанесения кровли пласта в сторону более низких высотных её отметок, что также могло приводить к попаданию металла в торфа (рис. 1).

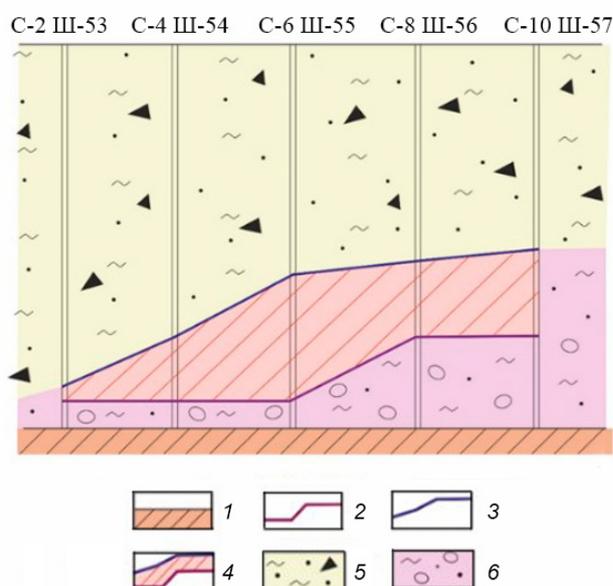


Рис. 1. Результаты сопоставления разведки целиковой россыпи скважинами и шурфами [9]:

1 – плитик; кровля пласта, по данным разведки; 2 – скважинами и 3 – шурфами; 4 – пески, не вошедшие в подсчёт запасов, по данным буровой разведки скважинами, и попавшие в торфа; 5 – торфа; 6 – пески

Галечные (галя) отвалы сложены сортированным хорошо промывистым материалом с преобладанием фракции +16 мм. Золото попадает в галечные отвалы из-за несоответствия типа промывочных приборов геологическим особенностям месторождения (россыпи с мелким золотом обрабатывают гидроэлеваторами; сильно глинистые россыпи промывают на приборах без предварительной разбивки глины) или из-за нарушения технологии промывки (недостаточное количество воды, промывка мёрзлых песков, отсутствие самородкоулавителей и др.).

Эфельные отвалы (эфеля) (фракция -16 мм) представляют собой хвосты промывки золотосодержащих песков на обогатительных установках в основном шлюзового типа, считаются наиболее привлекательными для повторной переработки, в том числе и вследствие обогащения эфелей за счёт удаления галечной составляющей горной массы [2]. Наиболее высокое содержание в них можно ожидать после отработки богатых россыпей с весьма мелким золотом и глинистыми песками, а также на вечномёрзлых россыпях.

Гале-эфельные отвалы представляют собой продукт переработки песков на гидравлических промывочных приборах без дифференциации перерабатываемого рыхлого материала по крупности. Золото в гале-эфельные отвалы попадает в основном в результате нарушения технологии промывки песков (короткие шлюзы, сильный напор воды,

загрязнённость воды, нерегулярная очистка шлюзов, недостаточный размыв глинистого материала).

Илисто-глинистый материал отстойников крайне труден для его повторной переработки – металл, преимущественно чешуйчатой формы, представлен единичными знаками 0,01–0,03 мм. Примеров удачного опыта добычи золота из илисто-отстойников нет.

Перебутор представляет собой материал неоднократной переработки торфяных и гале-эфельных отвалов. Выделить тот или иной элемент не представляется возможным. Какие-либо закономерности распределения золота установить также невозможно.

Условия формирования ТР определяются и способами отработки исходных целиковых россыпей, к которым относятся: дражный (подводный), гидравлический, открытый раздельный (гидромеханический), подземный, мускульный, среди вышперечисленных способов наибольшее распространение имели гидромеханический, дражный и гидравлический.

Дражный способ применяется в большинстве случаев для разработки обводнённых россыпей с тальми или предварительно оттаянными породами. Как показано на примере ТР Енисейского кряжа [6], при дражной отработке целиковых россыпей с хорошо промывистыми песками возможно появление двух максимумов содержаний – в основании пласта россыпи, возникающего вслед-

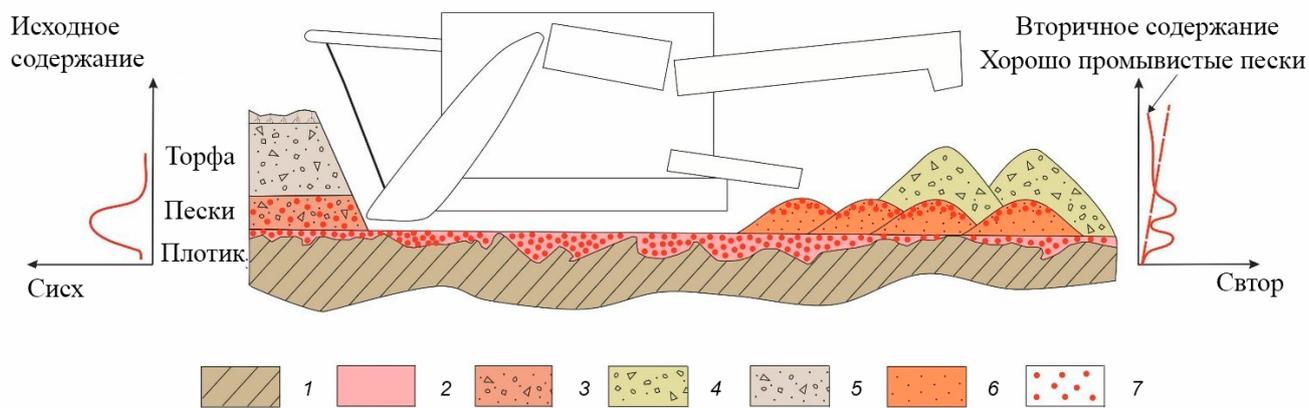


Рис. 2. Схема формирования продуктов отвального комплекса при дражной разработке и характер распределения в них золота [6]:

1 – плотик; 2 – неровности плотика; 3 – пески; 4 – галья; 5 – торфа; 6 – эфеля; 7 – участки повышенной концентрации золота

ствие потерь металла при зачистке коренных пород плотика, и в верхней части эфельного отвала, когда идут промывка наиболее обогащённой нижней части пласта целиковой россыпи и, соответственно, снос металла со шлюзов максимальный (рис. 2).

Гидравлический способ применяется для разработки россыпей преимущественно песчано-гравийного состава шириной не менее 20–40 м при достаточном количестве воды и электроэнергии. При этом способе производится размыв всей толщи рыхлых отложений гидромониторами (рис. 3). Данная технология при относительно высокой производительности отличается довольно низким извлечением металла.

При гидромеханическом способе добычи используется высокопроизводительное землеройное оборудование: экскаваторное, бульдозерное, скреперное, которое обеспечивает максимальную полноту выемки песков, залегающих в многолетне-мёрзлых породах, на малообводнённых россыпях в талых породах и обводнённых россыпях в талых породах, на которых возможно предварительное осушение обрабатываемого пространства. Отвалы на гидромеханических полигонах располагаются изолированно друг от друга, концентрируясь возле мест стоянок промприборов, к которым транс-

портировались пески на расстояние в 100–150 м. Встречаются отвалы двух типов – насыпные (эфель отталкивается бульдозером) и намывные, когда эфель от промывочного прибора удаляется самотёком вниз по рельефу (рис. 4).

К отвальному комплексу могут быть отнесены фрагменты целиков, не имеющих самостоятельного промышленного значения, которые обрабатываются совместно с техногенными отвалами без дополнительной разведки. Это недоработки остаточных частей целиковой первичной россыпи, размеры и точное местоположение которых по причине их незначительных размеров (объёмов) выявить невозможно (внутриконтурные: межшаговые, межходовые целики, недоработки плотика по глубине), а также бортовые целики, размер которых меньше размера ячейки разведочной сети.

Рыхлые отложения и коренные породы бортовых и внутриконтурных целиков могут занимать небольшую долю в общих запасах россыпи, но характеризуются самыми высокими содержаниями по сравнению с другими элементами ТР.

К основным горно-геологическим факторам, определяющим уровень потерь в ходе эксплуатации целиковой россыпи, а также содержания и характер распределения металла в ТР, можно отнести следующие:

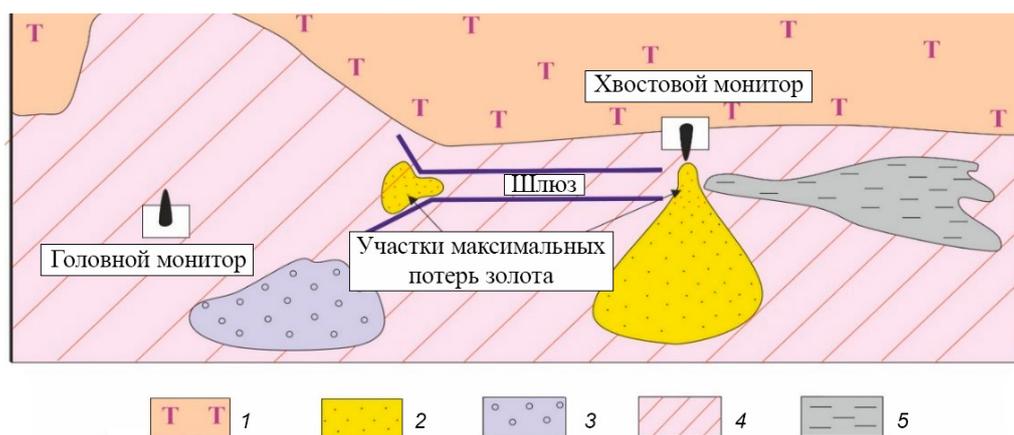


Рис. 3. Схема размещения пород отвального комплекса при гидравлической отработке [6]:

1 – целиковая россыпь, перекрытая торфами; 2 – эфель; 3 – галля; 4 – плотик россыпи; 5 – илы

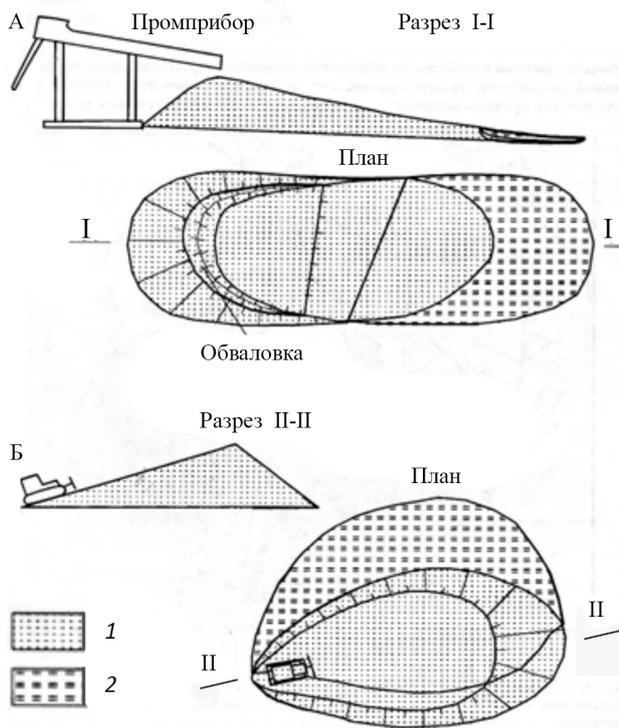


Рис. 4. Схема формирования намывных (А) и насыпных (Б) эфельных отвалов [6]:

1 – эфельный отвал; 2 – иловые отложения

- литологические, повышенные глинистость (глины более 15 %) и валунистость (валуны 10–30 %) отложений первичной россыпи;
- структурно-морфологические, к ним относятся невыдержанность пласта и большие глубины его залегания (более 20 м), изрезанность плотика (наличие карманов, карста);
- минералогические, наличие в россыпи золота мелких и тонких фракций ($-0,25$ мм), высокое содержание минералов тяжелой фракции в песках (более 20 кг/м^3), уплощенная и плоская морфология золотинок, наличие золота в сростках;
- криогенные, наличие сплошной многолетней мерзлоты.

Кроме того, на потери влияют: человеческий фактор; оборудование, используемое при доводке шлиховых концентратов; время года, когда происходит промывка песков; послеотрабочные мероприятия.

Запасы металла в ТР определяются технологическими и эксплуатационными потерями. Техно-

логические потери зависят от granulometрии и морфологии металла, промывистости песков, применяемых при промывке технических средств, наличии мерзлоты. Эксплуатационные потери – потери части балансовых запасов, не извлечённых из недр при разработке месторождений, а также попавшие в отвалы пород и оставленные в местах складирования, погрузки и на транспортных путях горного предприятия.

Исходя из уровня общих фактических потерь (эксплуатационные и технологические), можно выделить следующие группы месторождений:

1. Глинистые россыпи (иногда валунистые), содержащие главным образом мелкое золото, с уровнем общих потерь 80–95 %. Значительную роль в общем балансе потерь занимают технологические потери (40 %) и более.

2. Поражённые многолетней мерзлотой, хорошо- и среднепромывистые россыпи с мелким, средним и крупным золотом. Общие потери при отработке указанных россыпей могут достигать: а) при низком качестве оттайки вовлекаемых в отработку запасов – 60–80 % от добытого металла; б) при удовлетворительном оттаивании отработываемых запасов – 40–60 %; в) при полном оттаивании – 25–40 %. Значительную долю в общем балансе потерь составляют эксплуатационные потери (30–45 %) из-за недоработки пласта по глубине.

3. Хорошо- и среднепромывистые россыпи с мелким и средним золотом. Потери, связанные с их отработкой, обусловлены несоблюдением режима обогащения, наличием западин в плотике. Общие потери составляют 20–30 %.

Золото в отвалах, как правило, распределяется крайне неравномерно и «увязать» его повышенные содержания в пласт невозможно. Высокие концентрации обычно удалены друг от друга и разделены между собой значительными по размеру пустыми участками и участками со знаковым золотом (рис. 5). Таким образом, ТР по условиям залегания, размерам, степени выдержанности, равномерности распределения полезных минералов (компонентов) соответствуют 4-й группе сложности, при которой все запасы, вовлекаемые в разработку, по степени изученности могут быть отнесены к категории C_2 .

Традиционно разведка и подсчёт запасов ТР выполнялись по методике, применяемой для целиковых россыпей, что, по мнению авторов статьи, не учитывает в полной мере особенности

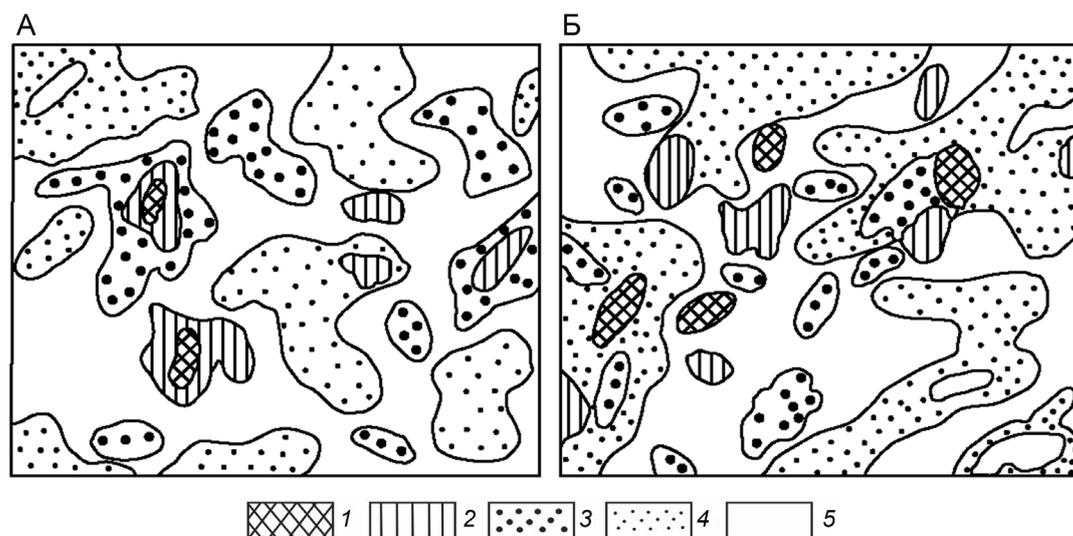


Рис. 5. Характер общих закономерностей распределения золота в ТР [3]:

А – после отработки талых участков целиковой россыпи; Б – после отработки участков целиковой россыпи, поражённых многолетней мерзлотой; уровни содержаний: 1 – очень высокие, 2 – высокие, 3 – средние, 4 – низкие, 5 – очень низкие

строения и распределения полезного компонента в ТР. Рассмотренная выше специфика ТР была учтена в разработанных ЦНИГРИ «Методических рекомендациях по разведке ТР золота и МПГ» (2025), в которой алгоритм разведки и подсчёта запасов сводится к следующим основным положениям (рис. 6):

1. В отличие от целиковых россыпей, для выявления которых необходимо проведение поисковых работ, местоположение отвалов, их объём, в ряде случаев и средние содержания с той или иной степенью достоверности известны, в связи с чем целесообразно совмещение стадий поисково-оценочных работ и разведки.

2. При наличии достоверных архивных материалов по геологоразведочной информации целиковой россыпи, годовых производственных отчётов по технологии горно-обогатительных работ, показателей технологических потерь при обогащении песков, результатов опробования техногенных отходов возможен подсчёт запасов ТР категории C_2 , что подтверждается результатами опытно-методических работ на ТР платины рек Кондёр и Уоргалан (Тарасов, 2015ф).

Фактические потери можно учесть только по данным отработки отдельных блоков, по которым были подсчитаны геологические запасы и по каждому из которых вёлся учёт добытого металла. Исходя из этого, на запасы, которые рассчитываются статистически как технологические потери, следует вводить поправочный коэффициент, равный коэффициенту намыва на металл.

3. Результаты подсчёта запасов подлежат государственной экспертизе, которая может дать заключение о готовности запасов к промышленному освоению или для подтверждения её достоверности дать заключение о проведении опытно-промышленной разработки (ОПР), по результатам которой выполняется корректировка рассчитанных запасов с использованием поправочного коэффициента.

Опытно-промышленная разработка подразумевает отбор и промывку весьма значительных объёмов техногенных отвалов (до первых десятков и сотен тысяч m^3), которые могут быть получены в результате заверочных дражных ходов или проходки горно-разведочных выработок большого сечения – разведочно-эксплуатационных полигонов (рис. 7).

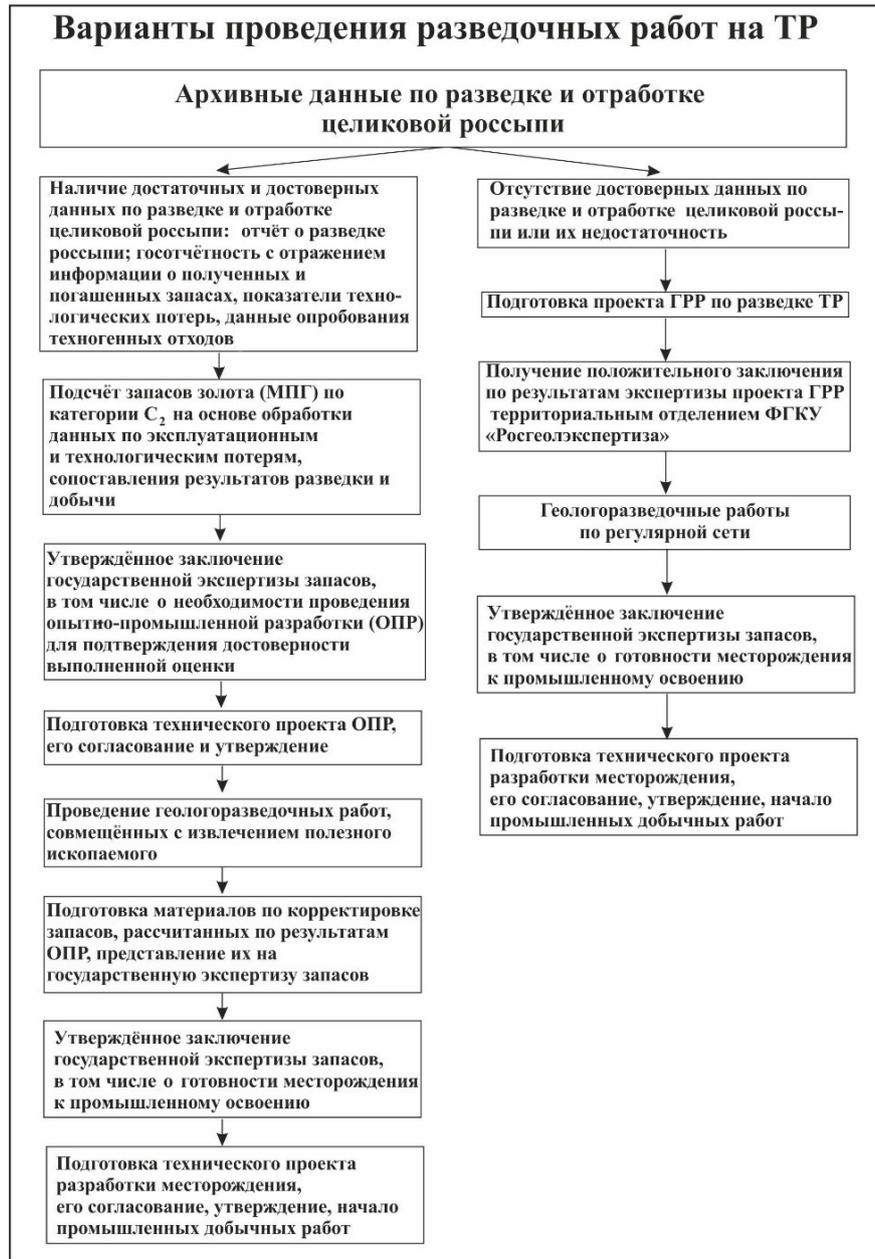


Рис. 6. Последовательность проведения геологоразведочных работ на ТР в зависимости от наличия ретроспективных данных [8]

Если при эксплуатации целиковой россыпи проводилась отработка своих остаточно-отвалных отложений (эксплуатационно-разведочные работы), то её результаты можно рассматривать как данные заверочных работ.

4. При отсутствии архивных данных по разведке и отработке целиковой россыпи или их недо-

статочности, или явной недостоверности выполняется разведка по регулярной сети.

Среди специалистов, занимающихся проблемами освоения ТР, существуют различные мнения о параметрах геометрии разведочной сети запасов ТР, вплоть до мнения о невозможности обоснования достоверного подсчёта по результатам ГРП

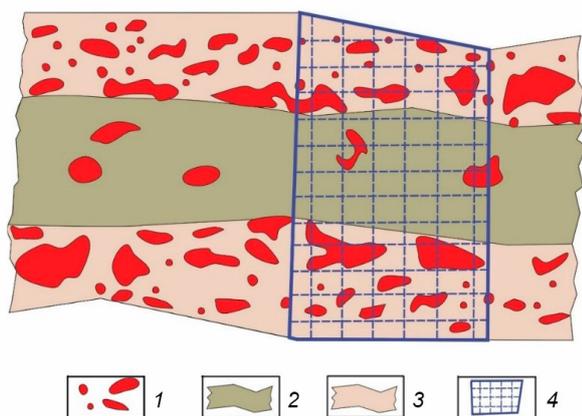


Рис. 7. Схема разведочно-эксплуатационного полигона в пределах ТР с неравномерным распределением золота в техногенных отложениях [10]:

1 – гнезда и линзы, обогащённые крупным золотом; 2 – галья и эфеля; 3 – бортовые целики без учтённых запасов; 4 – разведывательно-эксплуатационный полигон (РЭП)

и, следовательно, техногенные образования необходимо отнести к отходам производства, которые содержат только ресурсы [5].

С нашей точки зрения, выбор параметров разведочной сети, объёмов опробования и необходимых технических средств следует выполнять исходя из особенностей ТР и экономической целесообразности.

На практике находят применение все известные виды технических средств, используемых при ГРП на целиковых россыпях (за исключением подземных работ): буровая разведка, проходка шурфов, траншей, а также отбор точечных крупнообъёмных валовых проб из каждого крупного отвала (единицы учёта).

Важным этапом в планировании ГРП на ТР является обоснование рационального и достоверного объёма рядовых проб.

На основе анализа производственных отчётов и научно-исследовательских работ (НИР) можно увидеть весьма значительный разброс, используемых при разведке ТР объёмов проб (табл. 1).

Большинство специалистов, занимающихся разведкой ТР, наиболее достоверным считают отбор валовых проб (рисунки 8 и 9) и отмечают, что при малообъёмном опробовании возможно занижение средних содержаний и запасов в ТР.

В то же время единого мнения о рациональном объёме валовых проб нет. Кроме того, следует учитывать, что отбор крупнообъёмных проб приводит к необходимости использования высокопроизводительного промывочного оборудования, значительному удорожанию ГРП и не всегда возможен по горнотехническим условиям, например, при обводнённых отвалах повышенной мощности. С другой стороны, результаты опытно-методических (Тарасов, 2015ф) и заверочных (Долбилин, 2022ф) работ, выполненных на ряде техногенных объектов (реки Кондёр, Ургалан, Куклянка и др.) показали хорошую сходимость результатов, полученных при отборе среднеобъёмных (рис. 10) и крупнообъёмных проб.

Табл. 1. Виды отбираемых при разведке ТР проб

| Вид пробы | Объём пробы, м ³ | Способ отбора пробы |
|----------------|-----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Малообъёмная | 0,009–0,16 | Керновые, лунковые, копушные, бороздовые |
| Среднеобъёмная | 0,2–3,0 | Отбор точечных (задирковых) проб экскаватором по периметру отвала или из траншеи |
| Крупнообъёмная | Более 3,0 | Отбор точечных (задирковых) проб экскаватором или бульдозером на всю мощность отвала. Проходка шурфов (шурфоскважин), траншей. Дrajный ход |



Рис. 8. Отбор валовой пробы экскаватором



Рис. 9. Траншея, полученная при отборе валовой пробы бульдозером

В связи с этим наиболее оптимальным видом опробования техногенного отвального комплекса, по мнению авторов, является отбор среднеобъемных рядовых проб 0,2–0,8 м³. В разведочном профиле достаточно отбирать 60–70 проб, обеспечивающих минимальный объем групповой пробы 12–14 м³. Расстояние между профилями целесообразно принимать в пределах 300–600 м в зависимости от длины оцениваемого участка по условиям неоднородности геологических и горнотехнических признаков целиковой россыпи. Валовое опробование в единичных профилях с расстояниями между ними не менее 1400 м использовать в основном для заверочных целей и проводить прерывистыми секциями в разведочном профиле.

Выбор системы разведки ТР определяется рядом факторов: геоморфологической позицией отработанного объекта; способом отработки первичных песков; типом обогатительного оборудования; гидрогеологическими условиями; характером распределения и гранулометрическими характеристиками полезного компонента в отвалах; масштабом объекта; характером неоднородности строения россыпи. При этом с учётом горно-геологических условий и экономической

целесообразности для проведения достоверной разведки возможно применение всего спектра технических средств для отбора рядовых и заверочных проб: проходка траншей, шурфов, скважин, шурфоскважин; опробование каждой единицы учёта единичными крупнообъемными или групповыми среднеобъемными пробами; единичные дражные ходы; разведочные полигоны.

Исходя из опыта разведочных работ, выполненных производственными организациями в различных регионах РФ, предлагаются [7] следующие параметры разведочных сетей для ТР (табл. 2).

В заключение можно отметить, что ТР являются природно-техногенными объектами и характеризуются специфическими особенностями, которые требуют особого подхода к проведению ГРР в их пределах. С одной стороны, местоположение ТР, ряд их основных параметров (объём отвалов, данные по потерям) с той или иной степенью достоверности известны. Наличие достоверных статистических данных по потерям при проведении эксплуатации позволяет выполнить подсчёт запасов категории С₂. В случае необходимости, для подтверждения достоверности подсчёта ГКЗ может дать заключение о проведении ОПР, выполнение которых позволяет совмещать ГРР с извлече-



Рис. 10. Места отбора среднеобъемных проб из гале-эфельных отвалов россыпи р. Уоргалан

Табл. 2. Рекомендуемые параметры разведочной сети для разведки ТР, различных по способам отработки первичной россыпи

| Способы отработки первичной россыпи | Вид разведочных выработок | Расстояние, м | | Вид опробования |
|----------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | | между линиями (траншеями) | между выработками | |
| Раздельный (гидромеханический) Гидравлический | Траншеи | Проходка экскаваторных единичных траншей по всем типам отвалов (галечным, гале-эфельным, эфельным, торфяным), недоработкам по плотнику | | Валовый (длина секции 10 до 40 м, промывается весь объём или часть пробы – 25–50 %); бороздовый (на 1 валовую пробу, не менее 1 бороздовой); контрольное лунковое или задирковое в коренных породах; расстояние между пробами 5–10 м |
| | Шурфы Шурфо-скважины | 20–80 (в зависимости от размера отвала) | 10–20 | Валовый (промывается весь материал, извлечённый из шурфа) |
| | Поверхностные горные выработки для отбора единичных большеобъёмных проб (более 40 м³) | 1–2 большеобъёмные пробы, отобранные с каждого крупного, отдельно стоящего отвала по всей высоте сверху вниз | | Валовый |
| | Поверхностные горные выработки для отбора групповых точечных (объемом 0,2 м³) проб | Точечные пробы отбираются равномерно по всей мощности отвала с шагом 10–20 м или 5–10 м в зависимости от размера отвала | | Валовый – промывается групповая проба с каждого отвала (единицы учета) |
| | Разведочные полигоны | Единичные (в пределах участков с однородными горно-техническими и горно-геологическими условиями) | Непрерывные | Валовый – промывается вся проба; бороздовый расстояния между пробами 10–20 м; контрольное лунковое или задирковое в коренных породах; расстояние между пробами 5–10 м |
| Дражный (развалованные ТР, перебутор, аллювиально-техногенные) | Траншеи | 100–200 (при ширине ТР до 50 м); 200–300 (при ширине ТР 50–100 м); 300–400 (при ширине ТР более 100 м) | Непрерывные | Валовый (длина секции 10 до 40 м, промывается весь объём или часть пробы – 25–50 %); бороздовый (на 1 валовую пробу, не менее 1 бороздовой); контрольное лунковое или задирковое в коренных породах; расстояние между пробами 5–10 м |
| | Скважины | 50–100 (при ширине ТР 50–100 м); 100–200 м (при ширине ТР более 100 м); возможно применение ромбической или квадратной сети | 5–10 10–20 | При опробовании на массу промывается весь извлечённый из шурфа скважины (керновый или шламовый) материал; поинтервальное опробование (0,2–1,0 м) для выделения плотикового, приплотикового, подвесного-надплотикового, приповерхностного пластов |
| | Шурфы Шурфо-скважины | 100–200 | 10–20 | |
| | Дражные ходы | Единичные (пересекающие различные элементы ТР) | Непрерывные | Промывается вся проба |
| | Разведочные полигоны | Единичные (в пределах участков с однородными горно-техническими и горно-геологическими условиями) | Непрерывные | Валовый – промывается вся проба. бороздовый – расстояния между пробами 10–20 м; контрольное лунковое или задирковое в коренных породах; расстояние между пробами 5–10 м |

нием полезного ископаемого. Для ТР характерны в большинстве случаев простые горно-геологические условия отработки гале-эфельных отвалов: отсутствие пород вскрыши; рыхлая, легко разрабатываемая горная масса полезного ископаемого; чёткие естественные границы полезного ископаемого; весьма слабая залесённость; отсутствие необходимости проведения специальных мероприятий по осушению полезного ископаемого; наличие готовых прудов-отстойников.

С другой стороны, на многих объектах имеет место отсутствие достоверной информации по технологическим и эксплуатационным потерям, что приводит к необходимости выполнения ГРР, при этом, по мнению большинства специалистов, достоверная разведка должна выполняться с отбором и промывкой крупнообъёмных проб, что приводит к удорожанию работ. По мнению авторов, оптимальным видом опробования техногенного отвального комплекса является отбор среднеобъёмных рядовых проб 0,2–0,8 м³. К недостаткам ТР

относятся также: низкие средние содержания; неравномерное распределение металла в отвалах; преобладание труднообогащаемого (уплощённого, с преобладанием мелких и тонких фракций) золота и платиноидов; значительное количество небольших (по запасам) техногенных объектов, в пределах которых проведение дорогостоящих ГРР с длительной процедурой утверждения запасов может сделать нерентабельным их освоение.

Рассмотренные в сжатом виде методические подходы по разведке и подсчёту запасов золота и МППГ в полной мере изложены в «Методических рекомендациях...» (2025) и позволяют ускорить и удешевить разведку ТР для ряда техногенных россыпных объектов. В то же время можно констатировать, что для небольших по запасам ТР (с отсутствием достоверной статистической информации по потерям в процессе эксплуатации целиковых россыпей) проблема ускорения и удешевления их ввода в эксплуатацию остаётся.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Быховский Л. З., Спорыхина Л. В.* Техногенные отходы как резерв пополнения минерально-сырьевой базы: состояние и проблемы освоения // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. – 2011. – № 4. – С. 15–20.
2. *Ван-Ван-Е А. П.* Ресурсная база природно-техногенных золотороссыпных месторождений. – М. : Издательство «Горная книга»; Издательство Московского государственного горного университета, 2010. – 268 с.
3. *Гурулев В. С.* Разработка методических указаний по оценке техногенных запасов золота мелкозалегающих дражных полигонов Иркутской области. – Иркутск : ОАО «ИРГИРЕДМЕТ», 2002.
4. *Кавчик Б. К., Пятаков В. Г.* Геологическое строение техногенных россыпей и его влияние на выбор способа разработки // Золотодобыча. – № 135. – 2010. – С. 14–19.
5. *Лунышин П. Д.* Техногенка на россыпях – перспективы развития в густом тумане // Золото и технологии. – 2024. – № 1 (63). – С. 32–39.
6. *Макаров В. А.* Условия формирования техногенных золотосодержащих объектов и особенности методики их геолого-технологической оценки : специальность 25.00.11 «Геология, поиски и разведка твёрдых полезных ископаемых, минерагения» : автореф. дис. на соискание учёного степеней. докт. геол.-минерал. наук / Владимир Александрович Макаров. – Красноярск, 2001. – 47 с.
7. *Методические рекомендации по разведке техногенных россыпей золота и МППГ / Под ред. А. И. Иванова.* – М. : ЦНИГРИ, 2025. – 121 с.
8. *Мирзаханов Г. С., Мирзаханова З. Г.* Ресурсный Потенциал техногенных образований россыпных месторождений золота. – М. : МАКС-Пресс, 2013. – 288 с.
9. *Чемезов В. В., Тальгамер Б. Л.* Техногенные россыпи (образование, оценка и эксплуатация). – Иркутск : Иркутский ТГУ, 2013. – 239 с.
10. *Антонов А.* РЭПы для разведки техногенных россыпей и поиска новых месторождений россыпного золота, мнения специалистов [Электронный ресурс]. – <https://zolotodb.ru/article/13106> (дата обращения 28.11.2025).

REFERENCES

1. *Bykhovskiy L. Z., Sporykhina L. V.* Tekhnogennyye otkhody kak rezerv popolneniya mineralno-syryevoy bazy: sostoyaniye i problemy osvoyeniya [Man-made waste as a reserve for replenishing the mineral resource base: status and development problems], *Mineralnyye resursy Rossii. Ekonomika i upravleniye*, 2011, No. 4, pp. 15–20. (In Russ.)
2. *Van-Van-Ye A. P.* Resursnaya baza prirodno-tekhnogennykh zolotorossypnykh mestorozhdeniy [Resource base of natural and man-made gold placer deposits], Moscow, Gornaya kniga publ.; MGGU publ., 2010, 268 p. (In Russ.)
3. *Gurulev V. S.* Razrabotka metodicheskikh ukazaniy po otsenke tekhnogennykh zapasov zolota melkozalegayushchikh drazhnykh poligonov Irkutskoy oblasti, Irkutsk, OAO IRGIREDMET publ., 2002. (In Russ.)
4. *Kavchik B. K., Pyatakov V. G.* Geologicheskoye stroyeniye tekhnogennykh rossypey i yego vliyaniye na vybor sposoba razrabotki [Geological structure of technogenic placers and its influence on the choice of development method], *Zolotodobycha*, No. 135, 2010, pp. 14–19. (In Russ.)
5. *Lunyashin P. D.* Tekhnogenka na rossypyakh – perspektivy razvitiya v gustom тумане [Technogenic mining on placers – development prospects in dense fog], *Zoloto i tekhnologii*, 2024, No. 1 (63), pp. 32–39. (In Russ.)
6. *Makarov V. A.* Usloviya formirovaniya tekhnogennykh zolotosoderzhashchikh obyektov i osobennosti metodiki ikh geologo-tekhnologicheskoy otsenki [Conditions of formation of man-made gold-bearing objects and features of the methodology of their geological and technological assessment], *Krasnoyarsk*, 2001, 47 p. (In Russ.)
7. *Metodicheskiye rekomendatsii po razvedke tekhnogennykh rossypey zolota i MPG* [Guidelines for exploration of technogenic gold and PGM placers], ed. A. I. Ivanova, Moscow, TSNIGRI publ., 2025, 121 p. (In Russ.)
8. *Mirzekhanov G. S., Mirzekhanova Z. G.* Resursnyy Potentsial tekhnogennykh obrazovaniy rossypnykh mestorozhdeniy zolota [Resource Potential of Man-Made Formations of Placer Gold Deposits], Moscow, MAKS-Press publ., 2013, 288 p. (In Russ.)
9. *Chemezov V. V., Talgamer B. L.* Tekhnogennyye rossypi (obrazovaniye, otsenka i ekspluatatsiya) [Technogenic placers (formation, assessment and exploitation)], Irkutsk, Irkutskiy TGU publ., 2013, 239 p. (In Russ.)
10. *Antonov A.* REPy dlya razvedki tekhnogennykh rossypey i poiska novykh mestorozhdeniy rossypnogo zolota, mneniya spetsialistov [REPs for exploration of man-made placers and search for new placer gold deposits, expert opinions], available at: <https://zolotodb.ru/article/13106> (28.11.2025).

Статья поступила в редакцию 23.11.25; одобрена после рецензирования 03.12.25; принята к публикации 03.12.25.
The article was submitted 23.11.25; approved after reviewing 03.12.25; accepted for publication 03.12.25.

Некоторые особенности формирования колчеданно-полиметаллических месторождений типа VMS Большого Алтая

Аннотация: Большой Алтай является одним из важных участков для понимания геологии и металлогении Центральной Азии. Это территория, обладающая крупной минерально-сырьевой базой металлургии России, Казахстана, Китая и Монголии. Несмотря на длительную интенсивную разработку золоторудных, полиметаллических и редкометалльных месторождений, потенциальные возможности этого региона далеко не исчерпаны. В статье проведено комплексное исследование колчеданно-полиметаллических месторождений типа VMS, выявленных в этом трансграничном регионе. Установлены геолого-структурные, петрохимические и металлогенические закономерности их размещения. Показана приуроченность оруденения к двум девонским рудоносным формациям: нижней (калиево-натриевая) и верхней (натриево-калиевая). Петрохимический анализ, выполненный на основе созданной базы химических анализов (> 500 проб) вулканогенных пород рудоносных формаций, подтвердил формирование пород в рифтогенной обстановке. Максимальная продуктивность характерна для Прииртышского и Лениногорского рудных районов, что связано с мощностью рудоносных толщ и интенсивностью тектоно-магматических процессов. Главный резерв открытия новых месторождений заложен в не выходящих на дневную поверхность рудных объектах.

Ключевые слова: месторождения типа VMS, Большой Алтай, медь, свинец, цинк, рудоносные формации, петрохимические особенности.

СЕРАВИНА ТАТЬЯНА ВАЛЕРЬЕВНА, кандидат геолого-минералогических наук, заведующая лабораторией, seravina@tsnigri.ru

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

Some features of formation of VMS type deposits in the Greater Altai

T. V. SERAVINA

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

Annotation. The Greater Altai is one of the important areas for understanding the geology and metallogeny of Central Asia, it is an area with a large mineral resource base of metallurgy in Russia, Kazakhstan, China and Mongolia.

Despite the long-term intensive development of gold, polymetallic and rare metal deposits, the potential of this region is far from exhausted. The article provides a comprehensive study of pyrite-polymetallic deposits of the VMS type identified in this transboundary region. Geological, structural, petrochemical, and metallogenic patterns of their placement have been established. The occurrence of mineralization in two Devonian ore-bearing formations is shown: the lower (potassium-sodium) and the upper (sodium-potassium). The petrochemical analysis performed on the basis of the created database of chemical analyses (> 500 samples) of volcanogenic rocks of ore-bearing formations confirmed the formation of rocks in a riftogenic environment. The maximum productivity is characteristic of the Irtyshskij and Leninogorskij ore regions, which is associated with the thickness of the ore-bearing strata and the intensity of tectonic and magmatic processes. The main reserve for the discovery of new deposits is laid in ore objects that do not go out to the daytime surface.

Key words: VMS type deposits, Greater Altai, copper, lead, zinc, ore-bearing formations, petrochemical features.

Введение. Колчеданные месторождения в вулканогенных ассоциациях (VMS), являющиеся важным источником меди, цинка, свинца, золота и серебра, характеризуются приуроченностью сульфидного оруденения к вулканогенным породам. Объекты данного типа широко распространены во всём мире, известно более 1100 месторождений. Месторождения типа VMS играют важную роль в минерально-сырьевой базе свинца и цинка, уступая месторождениям SEDEX и MVT. Однако их комплексный состав и географическая распространённость делают их стратегическими объектами, особенно в регионах с развитой горнодобывающей инфраструктурой. Наиболее крупные месторождения данного типа расположены в Канаде, Испании, Австралии и Португалии. Выявлены как небольшие рудопроявления, так и супергигантские залежи (рис. 1).

Структуры Большого Алтая являются важной частью Центрально-Азиатского складчатого пояса (ЦАСП) и простираются более чем на 2500 км через территорию Российской Федерации, Республики Казахстан, северо-запада КНР (Синьцзян) и за-

падной Монголии. В пределах Большого Алтая находятся крупные месторождения цветных, благородных и редких металлов (Au, Cu-Mo, Fe, Pb-Zn, Ni-Cu (PGE), Li-Be-Nb-Ta и др.) [1, 2, 4, 9, 10, 12, 13, 16, 17, 20, 33, 35, 36, 37, 38, 45, 49, 50, 53, 54, 59, 60, 61, 62]. В настоящее время выявлены 16 крупных колчеданно-полиметаллических месторождений, которые играют важную роль в экономике государств. Общие запасы полиметаллов Большого Алтая, установленные на месторождениях типа VMS, составляют 60 млн т (в том числе (в млн т): свинца – 12,7, цинка – 34, меди – 13,3, а также золота 800 т и серебра 25 тыс. т). Наиболее крупными колчеданно-полиметаллическими месторождениями типа VMS (более 1 млн т меди, свинца и цинка) Большого Алтая являются: Риддер-Сокольное, Новоленингорское, Тишинское, Чекмарь, Орловское, Иртышское, Белоусовское, Николаевское, Малеевское, Зырянское, Греховское (Республика Казахстан), Корбалихинское, Золотушинское (Российская Федерация), Кекетале, Ашеле (КНР) и Дулаан кхар уул (Монголия) (см. рис. 1) [4, 6, 9, 11, 16, 17, 20, 25, 32, 35, 39, 42–44, 45, 51, 55, 57, 58, 64, 66, 67, 68, 69, 70].

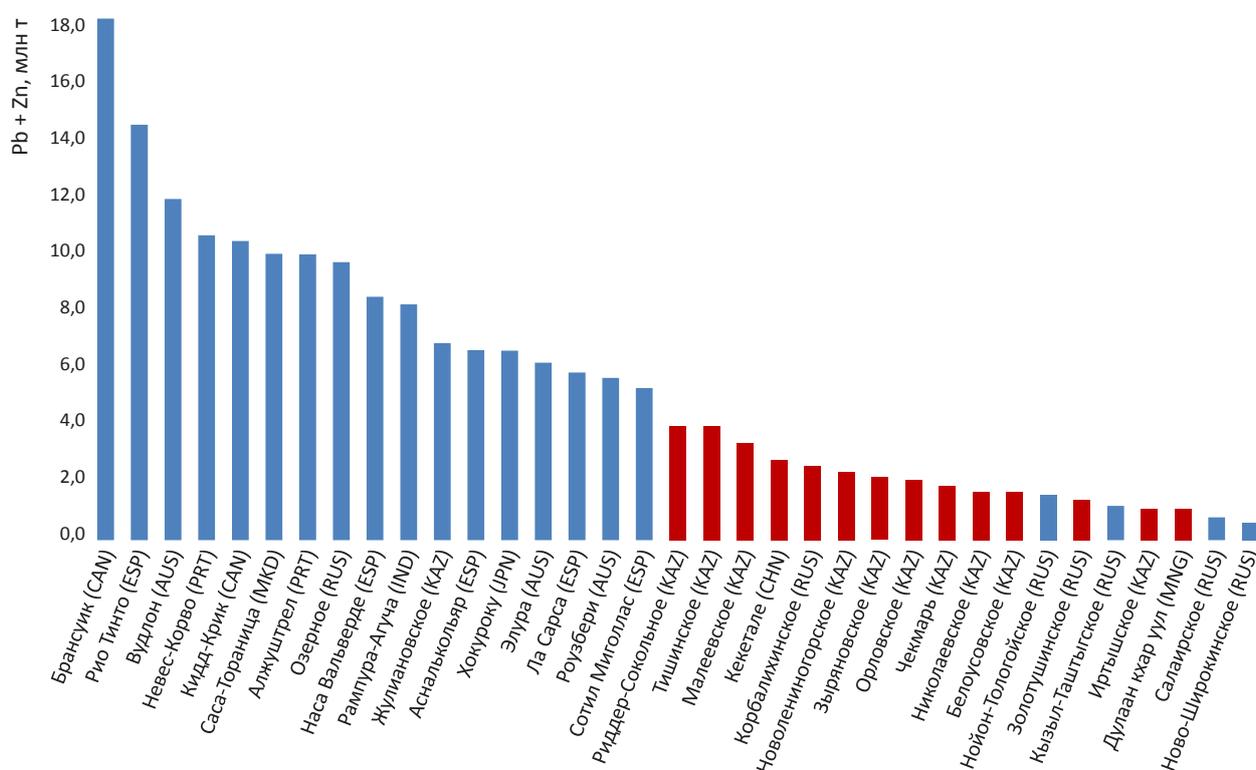


Рис. 1. Крупнейшие месторождения типа VMS мира (по запасам свинца и цинка). С использованием материалов [8, 11, 20, 40, 41, 48, 51, 55, 56, 57, 69]. Красным цветом выделены VMS месторождения, расположенные в пределах Большого Алтая

История исследования. Исследование колчеданно-полиметаллических месторождений в пределах Большого Алтая имеет многовековую историю, тесно связанную с промышленным развитием, геологическими открытиями и международным сотрудничеством.

Российский Алтай. Промышленное освоение региона началось в XVIII в. благодаря деятельности династии Демидовых, которые начали освоение Змеиногорского месторождения (1720-е гг.). Первые систематические геологические исследования Алтая начались в XIX в., в частности, благодаря экспедициям таких учёных, как Пётр Чихачёв, который в 1842 г. по поручению русского правительства изучил Восточный Алтай и опубликовал фундаментальный труд «Путешествие в Восточный Алтай». К концу XIX в. Алтай стал центром сереброплавильного производства, однако к началу XX в. многие рудники истощились. В советский период активные геологоразведочные работы выявили новые объекты, такие как Корбалихинское, Зареченское, Рубцовское, Степное, Таловское, Золотушинское, Юбилейное и другие месторождения, что привело к созданию горно-обогатительных комбинатов. Эти работы сопровождалось геологическим изучением рудных районов, полей и месторождений, научными и методическими разработками [20].

Казахстанский Алтай. Рудный Алтай, исторически входивший в Российскую империю, известен Колывано-Воскресенскими заводами (XVIII в.), обеспечивавшими до 90 % российской меди. В советский период здесь были созданы крупные горно-металлургические комбинаты (Лениногорский и Зырянский), а также открыты уникальные месторождения, такие как Малеевское, Орловское, Тишинское, Новолениногорское и другие. После 1991 г. привлечение иностранных инвестиций позволило модернизировать добычу и переработку руд [6].

Китайский Алтай. До XX в. в пределах территории проводились ограниченные исследования из-за удалённости и сложного рельефа. Рудознатоцы фиксировали признаки медных и серебряных руд. Активные исследования в Синьцзяне начались в 1950-х гг. при поддержке СССР. В настоящее время крупнейшие месторождения, такие как Кекетале и Ашеле, разрабатываются компаниями с использованием современных методов добычи [51, 55, 58].

Монгольский Алтай. До середины XX в. системные исследования отсутствовали, кочевые народы использовали поверхностные медные руды для ремёсел. Совместные советско-монгольские экспедиции (1950–1980-е гг.) выявили месторождения Асгат и Дулаан кхар уул, но их освоение началось лишь в 2000-х гг. благодаря иностранным инвестициям [57].

В 1998 г. вышла монография «Большой Алтай (геология и металлогения)», где была предложена модель глубинного строения региона, основанная на данных тектонических реконструкций [33].

Интерес к комплексному изучению территории этого региона появился после завершения международного проекта «Атлас геологических карт Центральной Азии и сопредельных государств масштаба 1 : 2 500 000» (2000–2008 гг.).

С 2010 г. по настоящее время реализуется проект «Большой Алтай», в рамках которого ФГБУ «ЦНИГРИ» проводит геологическое изучение приграничных территорий с целью создания единых металлогенических схем и прогнозно-поисковых моделей рудных районов, узлов и месторождений [46]. Анализ материалов показал, что главной проблемой для понимания структуры, геологических особенностей и прогнозирования является отсутствие единой структурно-формационной и металлогенической схемы Большого Алтая. Поэтому в 2025 г. была составлена такая карта [17], позволяющая визуализировать позицию всех структурно-формационных зон исследуемого региона.

Типовые месторождения. Основные колчеданно-полиметаллические месторождения типа VMS, выявленные в пределах российской части Большого Алтая, подробно рассмотрены в ряде работ [19, 21, 26, 27, 28, 29]. В данной статье в качестве примера приводятся типовые месторождения, расположенные в казахстанской и китайской частях Большого Алтая.

1. *Тишинское колчеданно-полиметаллическое месторождение* находится в Лениногорском рудном районе (Восточно-Казахстанская область, Республика Казахстан), его запасы составляют 4271 тыс. т (меди, свинца и цинка). В отличие от Риддер-Сокольного месторождения, открытого ещё в 1776 г. горным офицером Филиппом Риддером, Тишинское месторождение было обнаружено значительно позже – в 1958 г. в ходе планомерных геологоразведочных работ советского периода. Промышленная разработка месторождения началась в 1965 г., когда оно было введено в

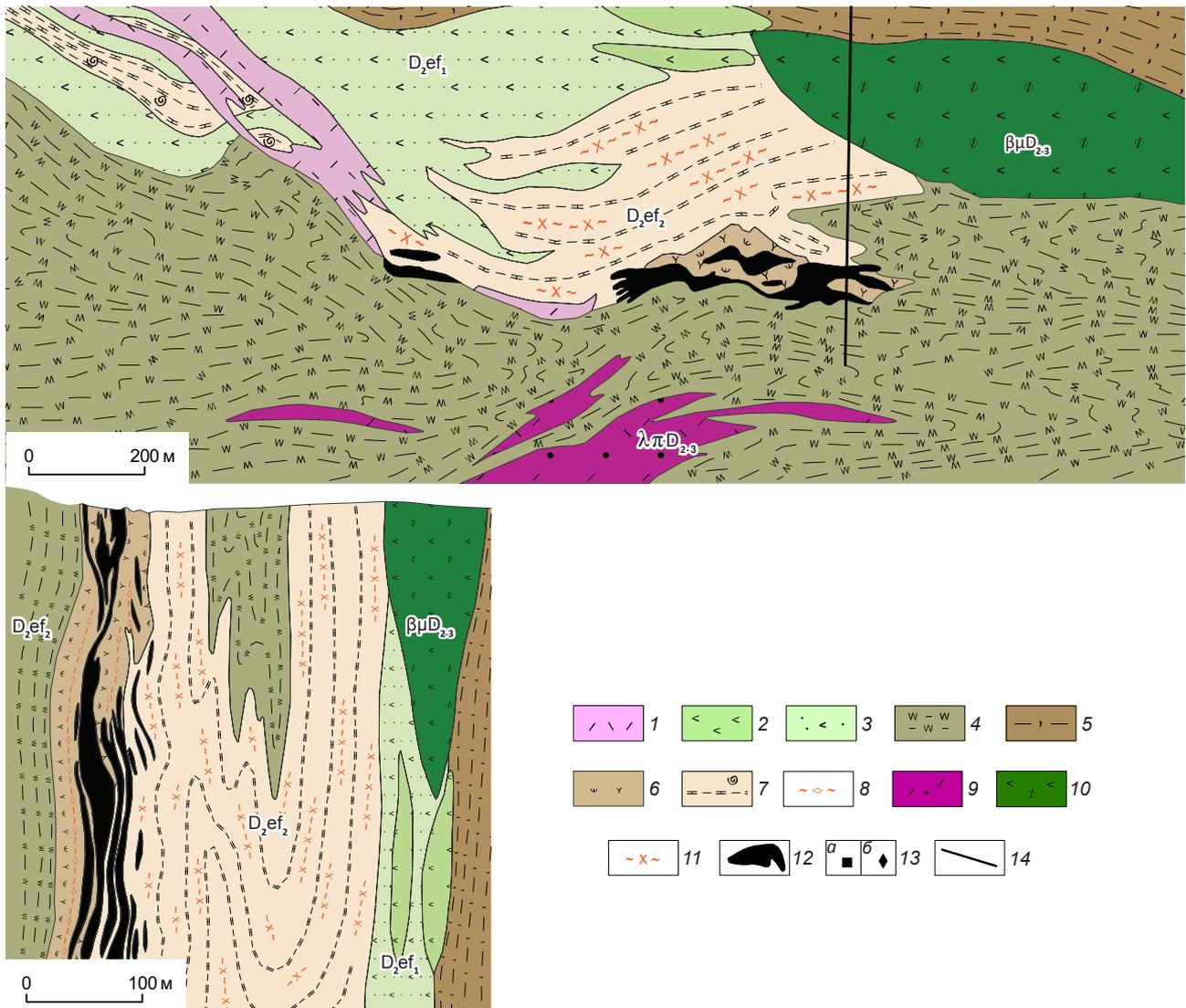


Рис. 2. Литологическая карта и разрез Тишинского месторождения, с использованием материалов [25]:

1–7 нижняя базальтсодержащая андезит-дацит-риолитовая известково-кремнисто-терригенная рудоносная формация (D_{1e} – D_{2gv_2}): 1 – лавы риолитового и 2 – андезибазальтового составов, 3 – вулканогенно-осадочные породы (без расчленения), 4 – алевролиты известково-углеродистые и 5 – кремнисто-глинистые, 6 – туффиты разного состава, 7 – алевропелиты известковые органогенные; 8 – сланцы карбонат (доломит)-кварц-серпичитовые; 9 – риолиты крупновкрапленные; 10 – андезибазальты; 11 – сланцы кварц-серпичит-хлоритовые; 12 – рудные тела; 13 – минерализация: а – пирит, б – галенит; 14 – линия разреза

эксплуатацию как часть Лениногорского полиметаллического комбината. Особенностью освоения этого месторождения стало применение комбинированного способа разработки: карьерная (до глубины 430 м; с 1963 по 1978 гг.) и подземная разработка (по настоящее время).

Месторождение характеризуется сложным геологическим строением, оно приурочено к отложе-

ниям средней части разреза рудоносной базальтсодержащей андезит-дацит-риолитовой известково-кремнисто-терригенной формации (туфогенно-осадочные тонкообломочные породы) (рис. 2). Современная структура месторождения представляет собой сложную систему тектонических линз и клиновидных блоков, в которых породы падают почти вертикально и смяты в изоклиналильные складки.

На месторождении выделяются две основные рудные залежи: основная и северо-западная, которые имеют линзовидную и лентовидную формы, осложнённые многочисленными раздувами и пережимами, расщеплениями, малоамплитудными складками, реже встречаются разобщённые штокверковые тела. Основные типы руд – полиметаллические, медно-цинково-колчеданные и серноколчеданные, реже – медноколчеданные, свинцово-цинковые и цинковые. Текстуры руд – прожилково-вкрапленные, реже массивные, полосчатые, плейчатые и катакlastические. Главные рудные минералы – пирит, халькопирит, галенит, сфалерит, реже пирротин и блёкляя руда [25].

2. *Малеевское колчеданно-полиметаллическое месторождение* расположено в Зырянском рудном районе (Восточно-Казахстанская область, Республика Казахстан), его запасы составляют 4293 тыс. т (меди, свинца и цинка). Масштабное изучение данного рудного района было начато в XVIII в., с открытия в 1791 г. геологом Г. Зыряновым первых рудников. Однако месторождение было открыто в рамках системных геологоразведочных работ под руководством Д. И. Горжевского и Г. Ф. Яковлева в 1950–1970-е гг. [6], А. К. Каюповым, которые выявили новые рудные узлы. Детальная разведка, проведённая в 1980-е гг., подтвердила промышленную ценность месторождения.

Месторождение приурочено к верхней части разреза базальтсодержащей андезит-дацит-риолитовой известково-кремнисто-терригенной формации. Геологический разрез месторождения представлен вулканогенно-осадочными породами, включающими туфы, туффиты, алевропелиты и известняки. Рудные тела локализованы в кремнистых алевролитах (рис. 3). Рудовмещающая пачка расположена на крыле антиклинали, моноклинально падает на северо-запад, осложнена флексуорообразными перегибами и разломами субмеридионального и широтного простирания. Рудные залежи ленто- и пластообразной формы в комбинации с секущими апофизами залегают субсогласно с вмещающими породами.

Основные типы руд – колчеданно-полиметаллический, медно-цинковый, медноколчеданный, барит-колчеданно-полиметаллический, барит-полиметаллический. Текстуры руд – массивные, слоистые, полосчато-слоистые, брекчиевидные, прожилково-вкрапленные. Главные рудные минералы – сфалерит, халькопирит, пирит, галенит, барит. Руды месторождения демонстрируют признаки

как первичного гидротермально-осадочного образования, так и последующего метаморфогенного преобразования, включая перекристаллизацию и образование метакристаллов [25].

3. *Медно-цинковое месторождение Ашеле (Ashele)* находится в рудном районе Ашеле (Синьцзян-Уйгурский автономный район, Китайская Народная Республика) и его суммарные запасы меди и цинка составляют 1516 тыс. т. Месторождение было открыто в 1980-х гг. китайскими геологами в ходе систематических поисковых работ в пределах Китайского Алтая. Промышленная эксплуатация началась в 1995 г. после завершения детальной разведки и оценки запасов. В настоящее время месторождение разрабатывается открытым способом с годовой производительностью около 3 млн т руды. Особенностью месторождения является его расположение в труднодоступном горном районе, что потребовало значительных инвестиций в инфраструктуру – строительство дорог, линий электропередачи и обогатительной фабрики. Эти сложности компенсируются высоким качеством руд и благоприятными горно-геологическими условиями для отработки.

Месторождение сложено породами формаций Ашеле (рудоносная, ранний–средний девон) и Цие (поздний девон) (рис. 4). Наиболее крупное рудное тело № 1 содержит более 98 % выявленных запасов меди и 97,5 % запасов цинка. Оно протягивается с севера на юг, имеет длину 900 м по простиранию и залегает на глубине 25–1500 м. Вмещающие вулканогенные породы и руды смяты в складки и имеют форму крюка (с базальтами в висячем боку и риолитами в лежащем боку). Рудное тело № 2 имеет двухслойную структуру: верхняя часть – пластообразное, согласное, массивное баритовое рудное тело; нижняя часть – прожилково-вкрапленные и штокверковые Cu-Pb-Zn-Ag рудные тела. Основные типы руд – колчеданные, медноколчеданные, медно-цинковые колчеданные, полиметаллические и полиметаллические баритовые. Текстуры руд – массивные, полосчатые, лентовидные, пятнистые, вкрапленные, штокверковые, жильные, прожилковые и брекчиевые. Главными рудными минералами являются халькопирит, сфалерит, галенит и пирит, а второстепенными – тетраэдрит, борнит, теннантит, антимонит, пирротин, самородное золото, электрум и тетрадимит [44, 51, 69].

4. *Полиметаллическое месторождение Кекетале (Keketale, Koktal или Koktag)* расположено в рудном районе Майзи (Maizi) (Синьцзян-Уйгурский

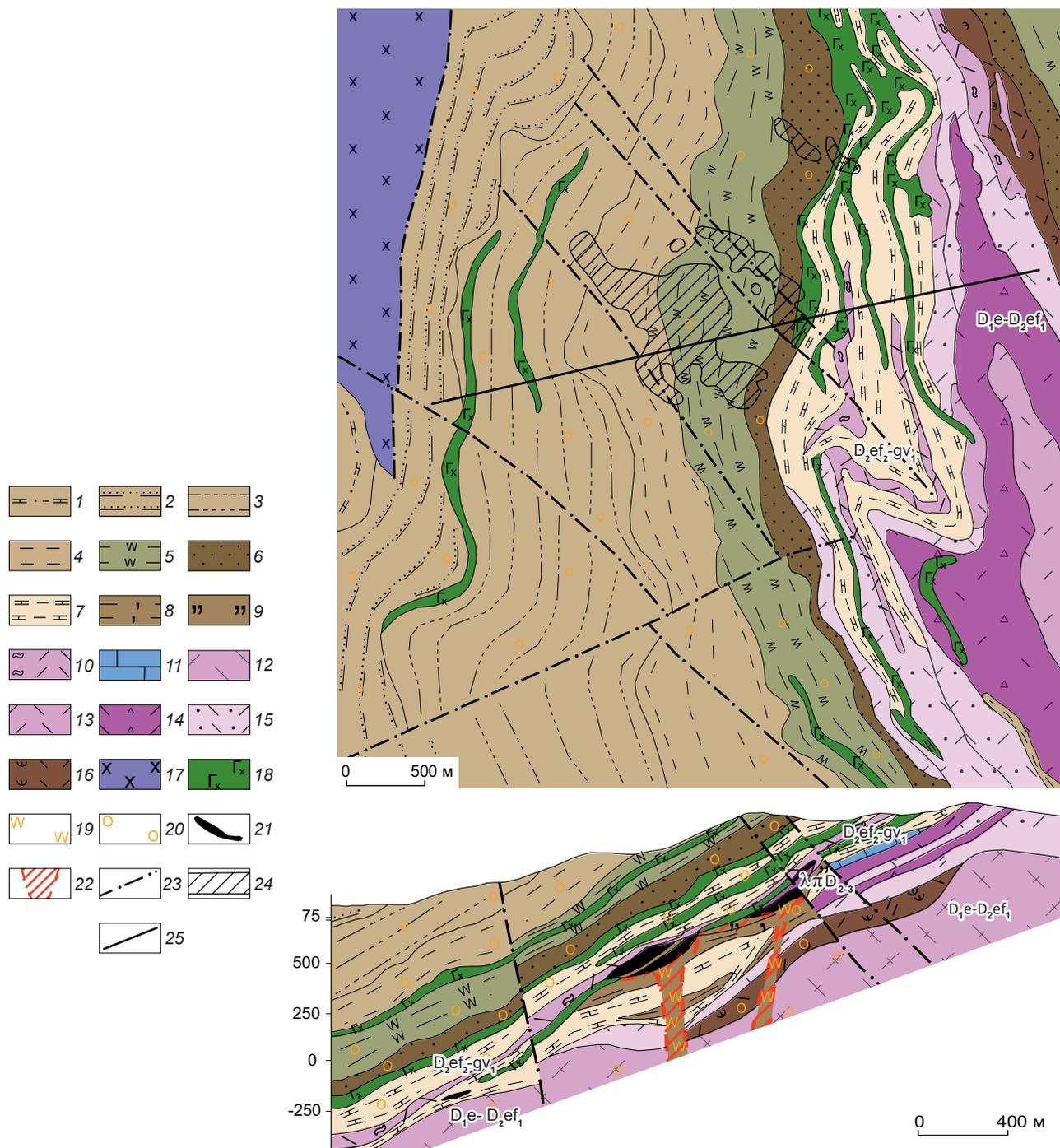


Рис. 3. Литологическая карта и разрез Малеевского месторождения, с использованием материалов [25]:

1–6 – надрудные отложения: 1 – алевролиты, песчаники, известняки, 2 – аргиллиты, песчаники, 3 – алевропесчаники, 4 – песчаники, алевропелиты, 5 – глинисто-углистые алевропелиты, 6 – песчаники; 7–11 – нижняя базальтсодержащая андезит-дацит-риолитовая известково-кремнисто-терригенная рудоносная формация ($D_1e-D_2gv_2$): 7 – известковистые алевролиты, 8 – кремнистые алевролиты, 9 – кремни, 10 – игнимбриты, 11 – карбонатные породы; 12–16 – подрудные отложения: 12 – риолиты, 13 – лавы риолитового состава, 14 – лавобрекчии риолитового состава, 15 – туфы риолитового состава среднеобломочные, 16 – туфы, туффиты риолитового состава; 17 – диориты; 18 – габбро-долериты; 19 – кварциты; 20 – ороговикованные породы; 21 – рудные тела; 22 – зоны подводющих каналов; 23 – разрывные нарушения; 24 – вертикальная проекция рудных зон; 25 – линия разреза

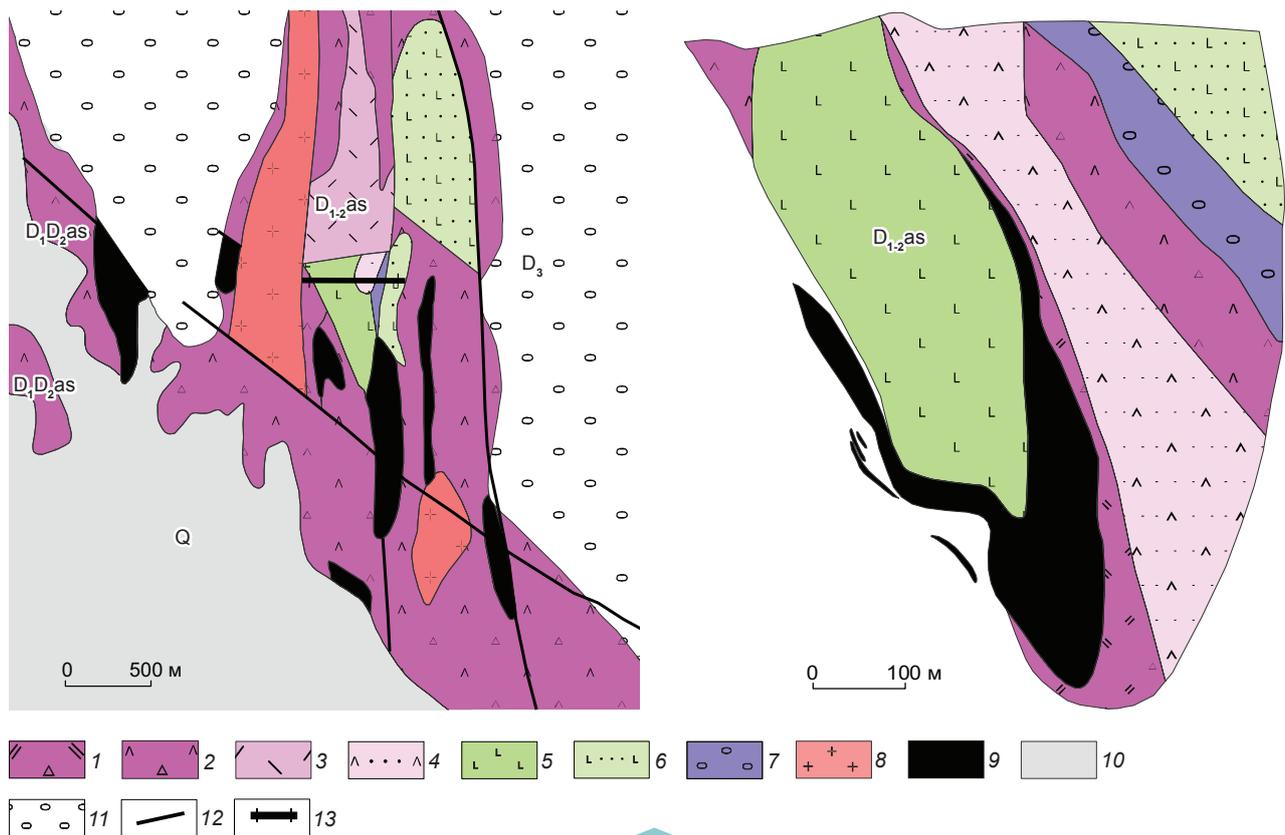


Рис. 4. Литологическая карта и разрез месторождения Ашеле, с использованием материалов [69]:

1–7 – рудоносная формация Ашеле ($D_{1-2}as$): 1 – лавобрекчии риолитового и 2 – дацитового составов, 3 – лавы риолитового состава, 4 – туфы дацитового состава, 5 – лавы базальтового состава, 6 – туфы базальтового состава, 7 – вулканические конгломераты; 8 – гранит-порфиры; 9 – рудные тела; 10 – четвертичные отложения; 11 – надрудные отложения (D_3); 12 – разрывные нарушения; 13 – линия разреза

автономный район, Китайская Народная Республика), его запасы (свинца и цинка) составляют 2830 тыс. т. Месторождение было открыто в ходе масштабных геологоразведочных работ, проводившихся в пределах Китайского Алтая во второй половине XX в. Это открытие стало частью более широкой программы по изучению минерально-сырьевой базы Синьцзян-Уйгурского автономного района. Первые систематические геологические исследования в районе современного месторождения Кекетале начались в 1950-х гг., когда китайские геологи приступили к изучению металлогенического потенциала Алтайских гор. В 1970-е гг. были проведены региональные геофизические исследования (магниторазведка и гравиразведка), которые выявили аномалии, указывающие на возможное наличие крупного рудного тела. В 1980-е гг. начаты детальные геологораз-

ведочные работы, включающие геологическую съёмку масштаба 1 : 50 000, геохимическое опробование и бурение первых скважин. Официальным годом открытия месторождения считается 1990 г., когда были получены первые промышленные пробы руды с высоким содержанием свинца, цинка и сопутствующих металлов. Последующие исследования в 1990-х гг. подтвердили промышленную ценность месторождения и позволили начать его освоение в начале 2000-х гг. До 2007 г. месторождение разрабатывалось несколькими небольшими частными горнодобывающими компаниями, которые добывали только высокосортные руды, оставляя низкосортные. В настоящее время месторождение находится в совместной собственности двух крупных компаний. Из-за холодного климата добыча ведётся только около восьми месяцев в году.

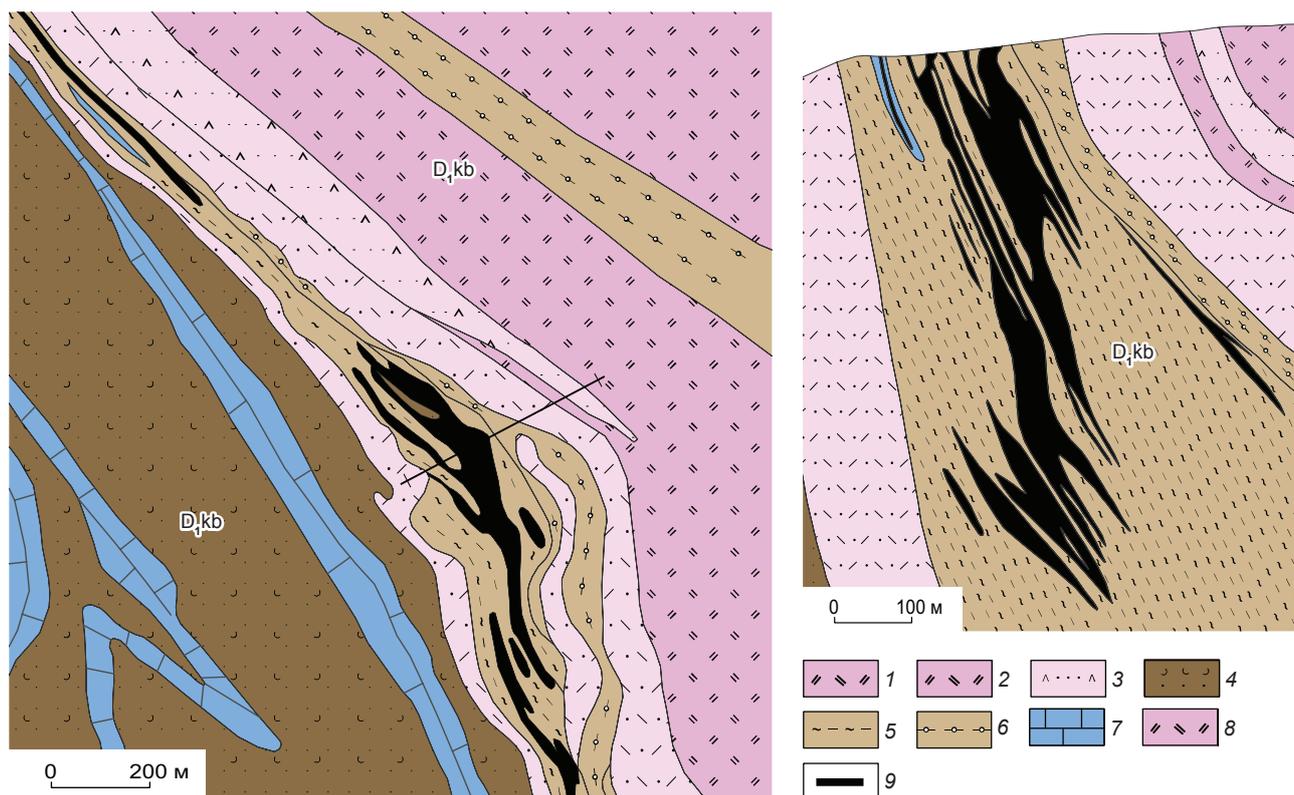


Рис. 5. Литологическая карта и разрез месторождения Кекетале, с использованием материалов [71]:

1–7 – рудоносная формация Кангбутибао (D_1kb): 1 – лавы риолитового и риодацитового состава, 2 – туфы риолитового состава мелко- и среднеобломочные, 3 – туфы дацитового состава мелко- и среднеобломочные, 4 – туфопесчаники, 5 – гранат-биотитовые сланцы по туфоалевролитам, 6 – биотит-кварцевые сланцы по туфоалевролитам, 7 – известняки; 8 – рудные тела; 9 – линия разреза

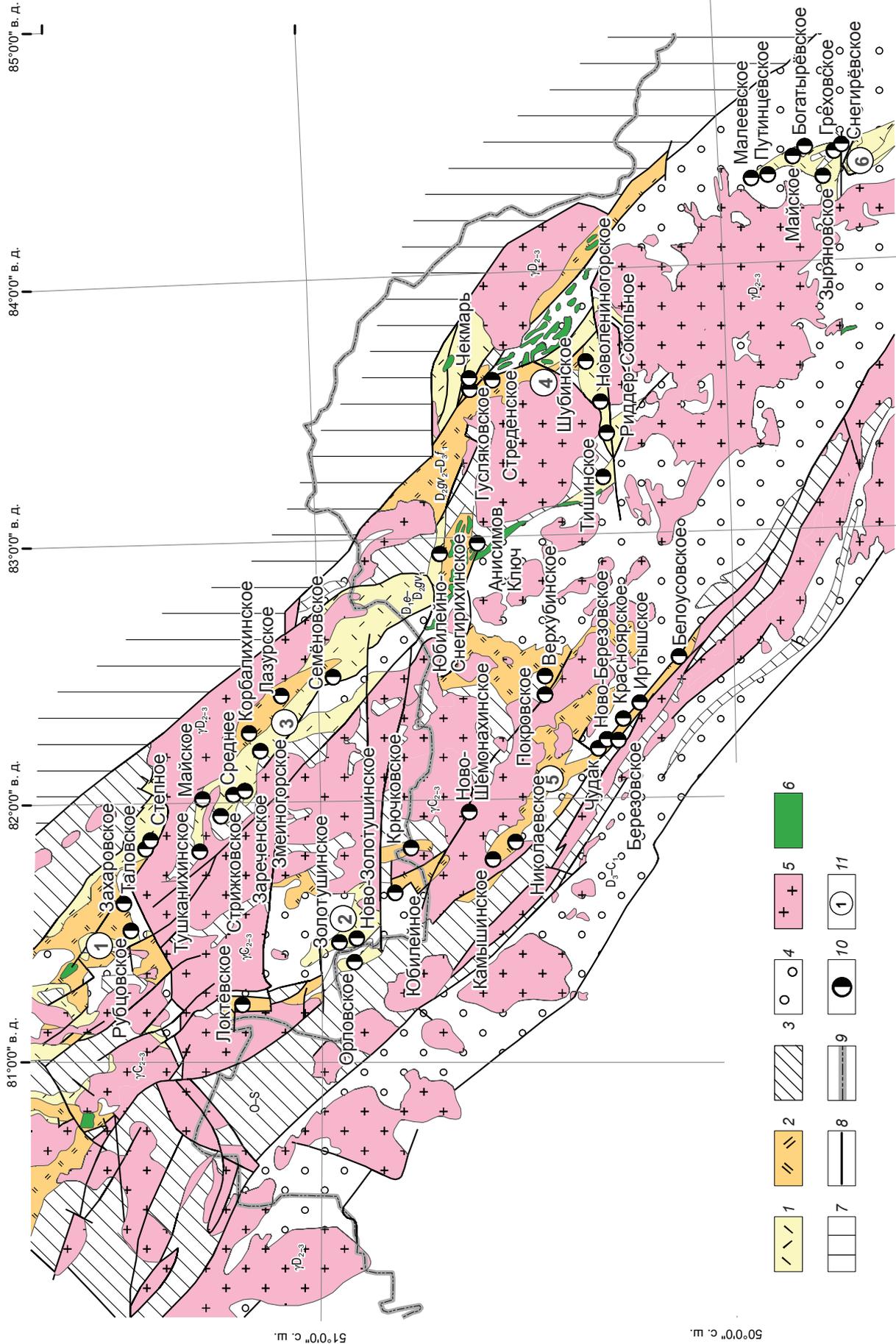
Месторождение приурочено к породам верхней части рудоносной формации Кангбутибао раннедевонского возраста (рис. 5). Рудовмещающие отложения представлены вулканогенно-осадочными породами: риолитовыми туфами, кварцитами, лавами кислого состава, алевролитами, песчаниками, мраморами и сланцами. Месторождение состоит из 12 рудных тел, среди которых основными являются рудные тела № 1, № 7 и № 9.

Рудные залежи согласны с напластованием вмещающих пород, характеризуются пластовой формой с раздувами и пережимами мощности. Основные типы руд – свинцово-цинковый, полиметаллический. Текстуры руд – массивные, вкрапленные, полосчатые, слоистые, жильные. Главные рудные минералы – сфалерит, галенит, пирит, с небольшим количеством пирротина и редким халькопиритом [55, 56, 58, 71].

Рудоносные формации. Основные месторождения типа VMS Большого Алтая расположены в пределах Рудноалтайской структурно-формационной зоны (СФЗ), которая имеет продолжение в пределах Китайского (Chinese Altai) и Монгольского (Mongol Altai) Алтая [17]. Все месторождения данного типа локализуются в вулканогенно-осадочных и вулканогенных породах рудоносных формаций девонского возраста, которые соответствуют двум циклам вулканической активности в регионе [3, 14, 15, 18, 19, 20, 31].

По отношению к центрам вулканической активности формирование пород этих формаций происходило в околожерловой, промежуточной и удалённой зонах, отличающихся друг от друга соотношением вулканогенного и осадочного материала. Формирование стратифицированных вулканитов сопровождалось образованием экстрозив-

Месторождения рудных и нерудных полезных ископаемых



ных и субвулканических тел. Последние являются подводными каналами и слагают корневые зоны вулканических построек [24].

Анализ распределения полиметаллического оруденения в продуктах вулканической деятельности свидетельствует о том, что основная масса месторождений и рудопроявлений сосредоточена в пачках частого переслаивания вулканогенно-осадочных отложений удаленной зоны, что отражено на рисунках 2–5. Литологический контроль оруденения определяется физико-механическими свойствами пород.

В пределах Рудноалтайской МЗ (территория Российской Федерации и Республики Казахстан) развиты нижняя (эмс-раннеживетская, ранний цикл вулканической активности) и верхняя (позднеживетская–раннефранская, поздний цикл вулканической активности) рудоносные геологические формации (рис. 6). Нижняя базальтсодержащая андезит-дацит-риолитовая известково-кремнисто-терригенная формация представлена алевролитами, песчаниками, туфопесчаниками, гравелитами, туфами кислого состава, туффитами, редко лавами и лавобрекчиями риолитов, риодацитов, андезитов, андезибазальтов. В состав верхней базальт-риолитовой кремнисто-терригенной формации входят риолиты, дациты, риодациты, андезиты, андезибазальты, их лавобрекчии; туфы кислого и основного составов, редко алевролиты, песчаники, туфопесчаники, тефроиды, аргиллитов [14, 15, 16, 19, 20].

В пределах Китайского Алтая рудоносными являются следующие формации: нижнедевонская Кангбутибао (Kangbutiebao) (ранний цикл вулканической активности, соответствует нижней формации в пределах Рудноалтайской МЗ), которая распространена наиболее широко, а также нижне-среднедевонская Ашеле (Ashele) (поздний цикл вулканической активности, соответствует верхней

формации в пределах Рудноалтайской МЗ) (рис. 7). Формация Кангбутибао в основном состоит из кислых вулканогенных пород (риолиты, риодациты, дациты, туфы), а также небольшого количества осадочных пород (метапесчаники, сланцы) [34, 43, 44, 55, 56, 58, 64, 66–68, 70, 71]. В пределах формации Ашеле широко развиты бимодальные вулканогенные породы, представленные андезитами, базальтами, реже дацитами, риолитами, брекчиевыми и осадочными туфами, туфопесчаниками, известняками [42, 51, 69].

Рудовмещающие (рудоносные?) отложения Монгольского Алтая (Делуун-Сагсайская (Deluun-Sagsay) металлогеническая зона) представлены породами раннедевонской формации Отог (Otog) и нижне-среднедевонской формации Бааст-Уул (Baast uul) (ранний цикл вулканической активности, соответствует нижней формации в пределах Рудноалтайской МЗ). Формация Отог сложена вулканогенно-осадочными породами, такими как риолиты и их туфы, дациты, риодациты, андезиты, базальты, конгломераты, туфоалевролиты и туфопесчаники. В разрезе формации Бааст-Уул выделяются туфопесчаники, риолиты, их туфы и туфобрекчии, андезиты, реже псаммитовые туфы и гравелиты [39, 57].

На основе собственных материалов, а также данных других исследователей, согласно металлогеническому кодексу РФ [23], в пределах Большого Алтая были выделены 11 рудных районов с месторождениями типа VMS (рис. 8). Они были оконтурены по полям развития рудоносных формаций девонского возраста в пределах палеопроегибов. С северо-запада на юго-восток выделяются: Рубцовский, Золотушинский, Змеиногорский (Российская Федерация), Лениногорский, Прииртышский, Зыряновский (Республика Казахстан), Ашеле (бассейны Ашеле (Ashele basin) и Чонгуер (Chonghuer basin)), Келан (Kelang basin) и Майзи (Maizi basin)

Рис. 6. Схематическая формационная карта северо-западной части Большого Алтая с месторождениями типа VMS, с использованием материалов [20]:

1–2 – рудоносные формации: 1 – базальтсодержащая андезит-дацит-риолитовая известково-кремнисто-терригенная ($D_1e-D_2gv_1$) (ранний цикл вулканической активности), 2 – контрастная базальт-риолитовая кремнисто-терригенная ($D_2gv_2-D_3f_1$) (поздний цикл вулканической активности); 3 – подрудные отложения основания (предположительно, нижнепалеозойского возраста); 4 – перекрывающие отложения (D_3-C_1 , без расчленения); 5 – гранитные комплексы (без расчленения); 6 – габбро-диабазы (без расчленения); 7 – пограничные с Рудноалтайской зоны; 8 – разрывные нарушения; 9 – государственные границы; 10 – месторождения типа VMS; 11 – рудные районы (числа в кружках): 1 – Рубцовский, 2 – Золотушинский, 3 – Змеиногорский (Российская Федерация), 4 – Лениногорский, 5 – Прииртышский, 6 – Зыряновский (Республика Казахстан)

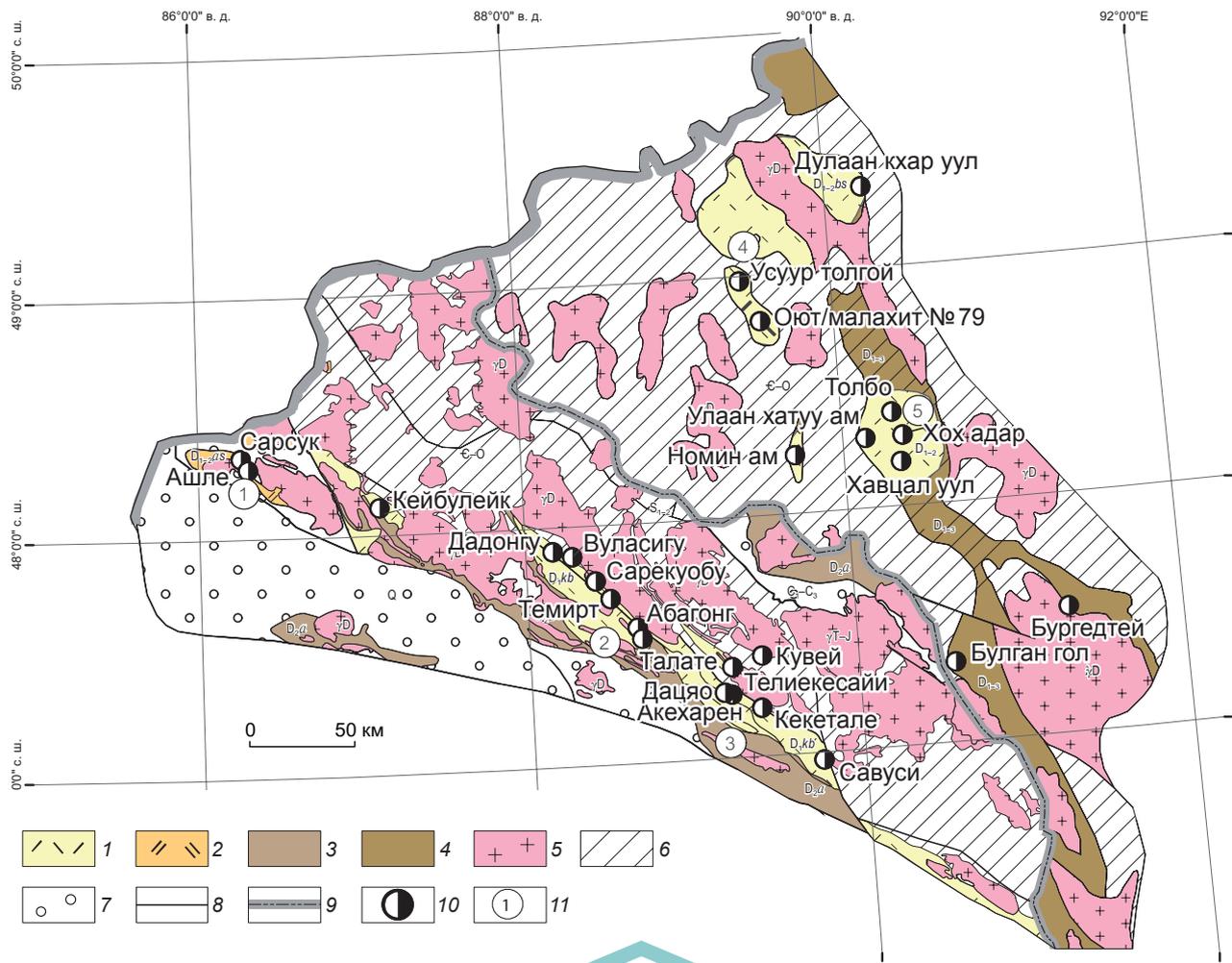


Рис. 7. Схематическая формационная карта юго-восточной части Большого Алтая с месторождениями типа VMS, с использованием материалов [34, 39, 65]:

1–2 – рудоносные формации: 1 – формация Кангбутибао ($D_{1lx-pr}-D_{1e}$) (Китайская Народная Республика) и формация Бааст уул ($D_{1pr}-D_{2ef}$) (Монголия) (ранний цикл вулканической активности), 2 – формация Ашеле ($D_{1e}-D_{2ef}$) (Китайская Народная Республика) (поздний цикл вулканической активности) ($D_{2gv}-D_{3f_1}$); 3 – формация Алтай (D_2a) (Китайская Народная Республика); 4 – девонские вулканогенно-осадочные отложения (D_{1-2} , без расчленения) (Монголия); 5 – гранитные комплексы (без расчленения); 6 – подрудные отложения основания ($\epsilon-O$); 7 – перекрывающие отложения (без расчленения); 8 – разрывные нарушения; 9 – государственные границы; 10 – месторождения типа VMS; 11 – рудные районы (числа в кружках): 1 – Ашеле (бассейны Ашеле (Ashele basin) и Чонгхуер (Chonghuer basin)), 2 – Келан (Kelang basin), 3 – Майзи (Maizi basin) (КНР), 4 – Дулаан кхар уул (Dulaan khar uul), 5 – Хох адар (Khokh adar)

(КНР), Дулаан кхар уул (Dulaan khar uul) и Хох адар (Khokh adar) рудные районы. Таким образом, они эквиваленты структурно-формационным блокам в пределах металлогенических зон и представляют собой крупные вулканотектонические депрессии, выполненные вулканогенно-осадочными отложениями одной (или двух) рудоносных формаций. Мощность отложений рудоносных формаций

коррелирует с интенсивностью прогибания основания и достигает максимальных величин в центральной части Большого Алтая на территории Республики Казахстан. Важным фактором для локализации промышленного оруденения являются соотношения в составе формаций вулканитов основного (среднего) и кислого состава, а также карбонатно-терригенных и вулканогенных пород.

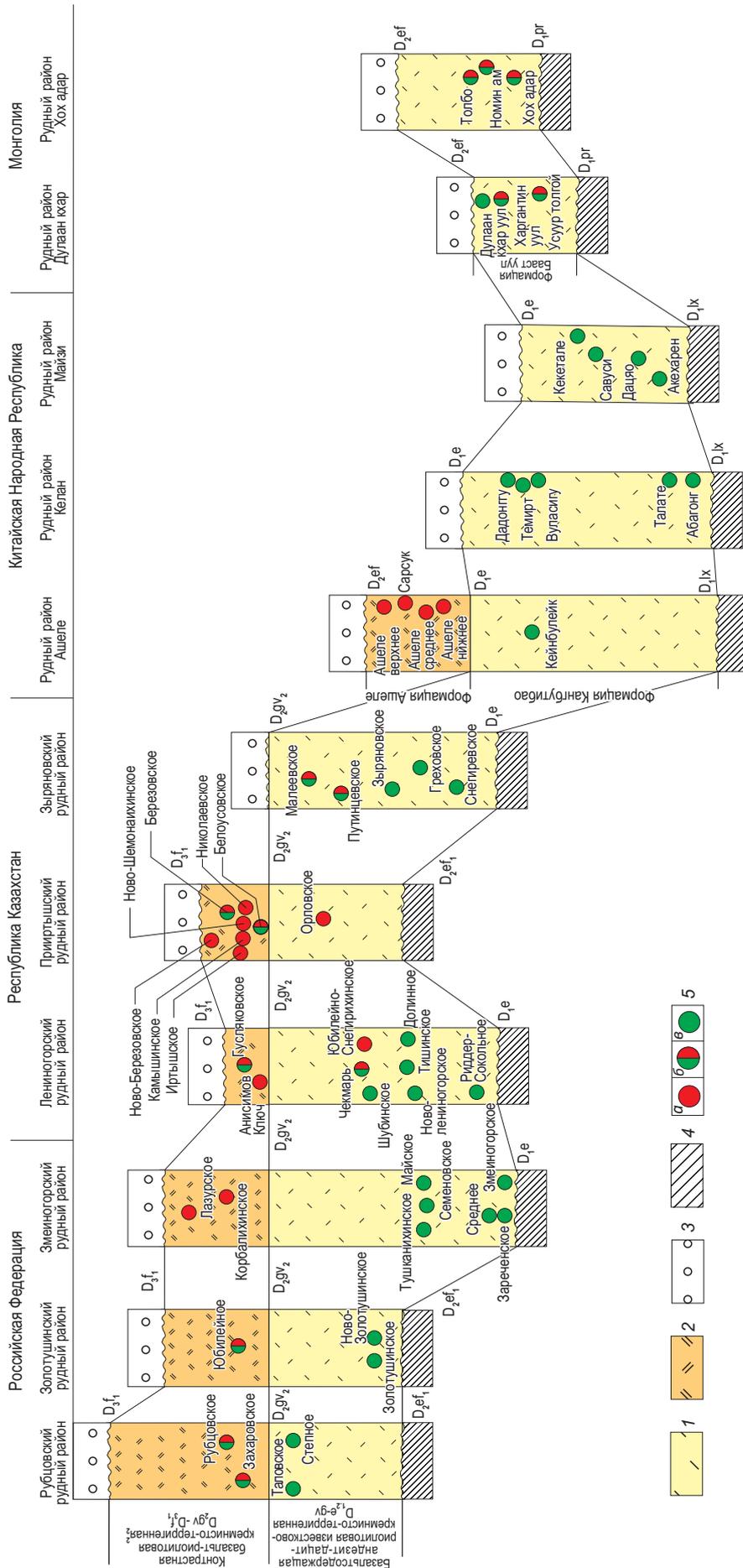


Рис. 8. Схематические формационные колонки для рудных районов Большого Алтая, в пределах которых выявлены месторождения типа VMS, с использованием материалов [10, 20, 34, 42–44, 51, 55, 56, 58, 64, 66, 67, 68, 69, 70, 71]:

1–2 – рудоносные формации: 1 – базальтосодержащая андезит-дацит-риолитовая известково-кремнисто-терригенная ($D_1e-D_2gv_1$) (Российская Федерация и Республика Казахстан), аналоги: формация Кангубтаба ($D_1x-rg-D_1e$) (Китайская Народная Республика) и формация Бааст уул (D_1rg-D_2ef) (Монголия), 2 – контрастная базальт-риолитовая кремнисто-терригенная ($D_2gv2-D_3f_1$) (Российская Федерация и Республика Казахстан), аналог: формация Ашеле (D_1e-D_2ef) (Китайская Народная Республика); 3 – перекрывающие формации (D_3-J_2); 4 – подрудные отложения основания (предположительно, нижнелеозойского возраста); 5 – рудные формации: медно-свинцово-цинковая колчеданная: сфалерит-халькопирит-пиритовый (a) и халькопирит-галенит-сфалерит-пиритовый (б) минеральные типы, свинцово-цинковая колчедансодержащая рудная формация: галенит-сфалерит-баритовый и галенит-сфалеритовый пиритсодержащие минеральные типы (в)

Петрохимические особенности рудовмещающих пород. Изучение петрохимических особенностей рудоносных формаций месторождений типа VMS Большого Алтая было основано на созданной базе химических анализов, охватывающей кислые (450 анализов), а также средние и основные (52 анализа) разности пород. Данные были структурированы по рудным районам (Рубцовский, Золотушинский, Змеиногорский, Лениногорский, Прииртышский, Зыряновский, Ашеле, Келан, Майзи) и формациям (нижняя, верхняя). Для каждой пробы в базе приведены концентрации основных оксидов, а также BaO, общая сера и расчётные параметры, такие как: $K_2O + Na_2O$, K_2O/Na_2O , $FeO + 0,9Fe_2O_3$ (аналог общего железа FeO_t), а также $FeO + 0,9Fe_2O_3/MgO$ (показатель дифференциации).

Нижняя формация ($D_1e-D_2gv_1$ – Российская Федерация и Республика Казахстан; $D_1lx-pr-D_1e$ – Китайская Народная Республика).

Нижняя базальтсодержащая андезит-дацит-риолитовая известково-кремнисто-терригенная формация развита в пределах Большого Алтая повсеместно. Данные охватывают два основных класса пород:

1. Кислые разности (риолиты, дациты): преобладают в разрезе (большинство анализов). Характеризуются высоким содержанием SiO_2 (65–85 %), умеренным Al_2O_3 (8–20 %) и переменным соотношением щелочей ($K_2O + Na_2O = 1–15$ %).

2. Средние и основные разности (андезиты, базальты) встречаются реже. Отличаются пониженным SiO_2 (36–62 %), повышенными содержаниями FeO_t , MgO и CaO (до 28, 10 и 15 % соответственно).

Ключевые геохимические тренды.

1. Щелочная специализация: выявлены как калиевые ($K_2O > Na_2O$, например, в Зыряновском районе K_2O/Na_2O достигает 8,0), так и натриевые серии ($Na_2O > K_2O$, например, в Змеиногорском районе K_2O/Na_2O составляет ~0,1–0,5). Общий индекс щёлочности ($K_2O + Na_2O$) демонстрирует значительный разброс.

2. Ферромагнезиальные компоненты: отношение $FeO + 0,9Fe_2O_3/MgO$ варьирует от очень низких значений (< 1) в высококремнезёмистых разностях до высоких (> 10) в некоторых основных породах. Это отражает кристаллизационную эволюцию: от ранних Mg-богатых фаз к Fe-обогащённым остаточным расплавам. В основных породах фиксируются повышенные концентрации TiO_2 (до 1,5 %).

Региональные вариации (особенности).

1. Змеиногорский район: преимущественно кислые породы с умеренной щёлочностью и вариативным содержанием FeO, MgO.

2. Золотушинский район: кислые породы с тенденцией к повышенной щёлочности.

3. Лениногорский район: широкий спектр – от кислых до средних пород; встречаются обогащённые глинозёмом ($Al_2O_3 > 20$ %) и железистые разности.

4. Зыряновский район: ярко выраженные калиевые кислые породы (K_2O/Na_2O часто > 2 , достигает 9,12).

5. Район Ашеле (бассейн Чонгуэр): высококремнезёмистые (SiO_2 часто > 78 %) и высоконатриевые (Na_2O до 5,78 %) риолиты.

6. Район Келан: представлены как высокодифференцированные кислые, так и менее дифференцированные средние породы.

7. Район Майзи: кислые породы с умеренной щёлочностью и переменным Fe/Mg.

По данным химических анализов, для нижней базальтсодержащей андезит-дацит-риолитовой известково-кремнисто-терригенной формации были составлены диаграммы [30], характеризующие петрохимические особенности вулканогенных пород, которые представлены на рис. 5.

Диаграмма TAS (Total Alkali-Silica) демонстрирует состав пород по содержанию кремнезёма (SiO_2) и щелочей ($Na_2O + K_2O$). Распределение точек на диаграмме позволяет отнести породы формации к ряду от базальтов до риолитов, что подтверждает их принадлежность к непрерывной ассоциации. Наличие базальтовых разностей указывает на участие более мафических магм в формировании комплекса. Диаграмма K_2O-Na_2O для кислых магматических пород отражает соотношение калия и натрия, что важно для понимания их петрогенезиса. Распределение точек на диаграмме свидетельствует о преобладании калия над натрием и принадлежности пород к известково-щелочной серии. Диаграмма А. Мияширо, основанная на соотношении $(FeO + 0,9Fe_2O_3)/MgO$ и TiO_2 , позволяет разделить толеитовые и известково-щелочные серии. Расположение точек на диаграмме показывает принадлежность пород к известково-щелочной серии, что согласуется с данными диаграммы K_2O-Na_2O . Линии дифференциации вулканитов указывают на фракционирование оливина и пироксена в мафических магмах. Диаграмма AFM (Alkali-FeO*-MgO), где $FeO^* = FeO + 0,9Fe_2O_3$, иллюстрирует эволюцию

магматических серий. Распределение точек подтверждает известково-щелочной характер формации, с чётким трендом дифференциации от мафических к кислым составам, что характерно для антидромного типа вулканизма. Это свидетельствует о сложных процессах кристаллизационной дифференциации и возможном участии корового материала в магмообразовании.

Исходя из вышеизложенного можно сделать вывод, что нижняя формация является непрерывной, относится к калий-натриевой серии с преобладанием калия над натрием. Исключение составляют кислые породы, развитые в пределах рудных районов Майзи и Зырянский. Поведение основных петрогенных окислов свидетельствуют о том, что вулканогенные породы относятся к известково-щелочной серии (рис. 9).

Верхняя формация ($D_2gy_2-D_3f_1$ – Российская Федерация и Республика Казахстан; D_1e-D_2ef – Китайская Народная Республика).

Верхняя базальт-риолитовая кремнисто-терригенная формация развита в пределах Большого Алтая ограниченно. В разрезе доминируют породы кислого состава (риолиты, дациты, реже риодациты), что подтверждается высокими содержаниями кремнезёма (SiO_2). Подавляющее большинство проб характеризуется значениями SiO_2 в диапазоне 70–80 %, что типично для кислого вулканизма. Содержания глинозёма (Al_2O_3) варьируются в основном от 10 до 14 %, что также соответствует кислому составу.

Группа средних и основных пород представлена меньшим числом проб. Они характеризуются: пониженным SiO_2 (44–56 %), повышенными содержаниями Fe_2O_3 (3–13 %), FeO (6–9 %), MgO (2–14 %) и CaO (1–11 %). Сумма щелочей ($Na_2O + K_2O$) ниже, чем в кислых породах (1–7 %), с преобладанием натрия (K_2O/Na_2O часто $< 0,5$). Также отмечаются высокие значения параметра $0,9 \times (Fe_2O_3 + FeO)$ и магнезиальности, отражающие основной состав.

Ключевые геохимические тренды.

1. Щелочная специализация: значения суммы щелочей демонстрируют значительный разброс: от ~ 3 до 15 %, однако большая часть проб попадает в интервал 5–8 %. Это указывает на преимущественно нормальную или умеренно повышенную щёлочность основной массы пород. Соотношение K_2O/Na_2O варьируется от 0,1 до 7,5.

2. Ферромагнезиальные компоненты: отношение $0,9 \times (Fe_2O_3 + FeO)/MgO$ сильно варьируется по районам. Змеиногорский район: широкий раз-

брос от ~ 1 до > 30 , что указывает на присутствие как примитивных, так и высокодифференцированных разностей; Золотушинский, Рубцовский, Прииртышский районы: значения преимущественно выше 5, часто > 10 , что характерно для дифференцированных кислых магм; район Ашеле: значения преимущественно ниже 5, что может указывать на менее дифференцированный характер магм.

Региональные вариации (особенности).

1. Змеиногорский район: наиболее представительная выборка, характеризуется максимальным разнообразием геохимических параметров, особенно по щелочам (K_2O/Na_2O) и магнезиальности. Встречаются как высококалийевые ($K_2O/Na_2O > 3$), так и умеренно натриевые разности.

2. Золотушинский район: породы имеют в целом схожий со Змеиногорским районом кислый состав, но часто с несколько более низкими содержаниями K_2O и умеренными значениями K_2O/Na_2O (часто $< 1,5$). Отмечаются повышенные содержания общего железа (до 8,22 %).

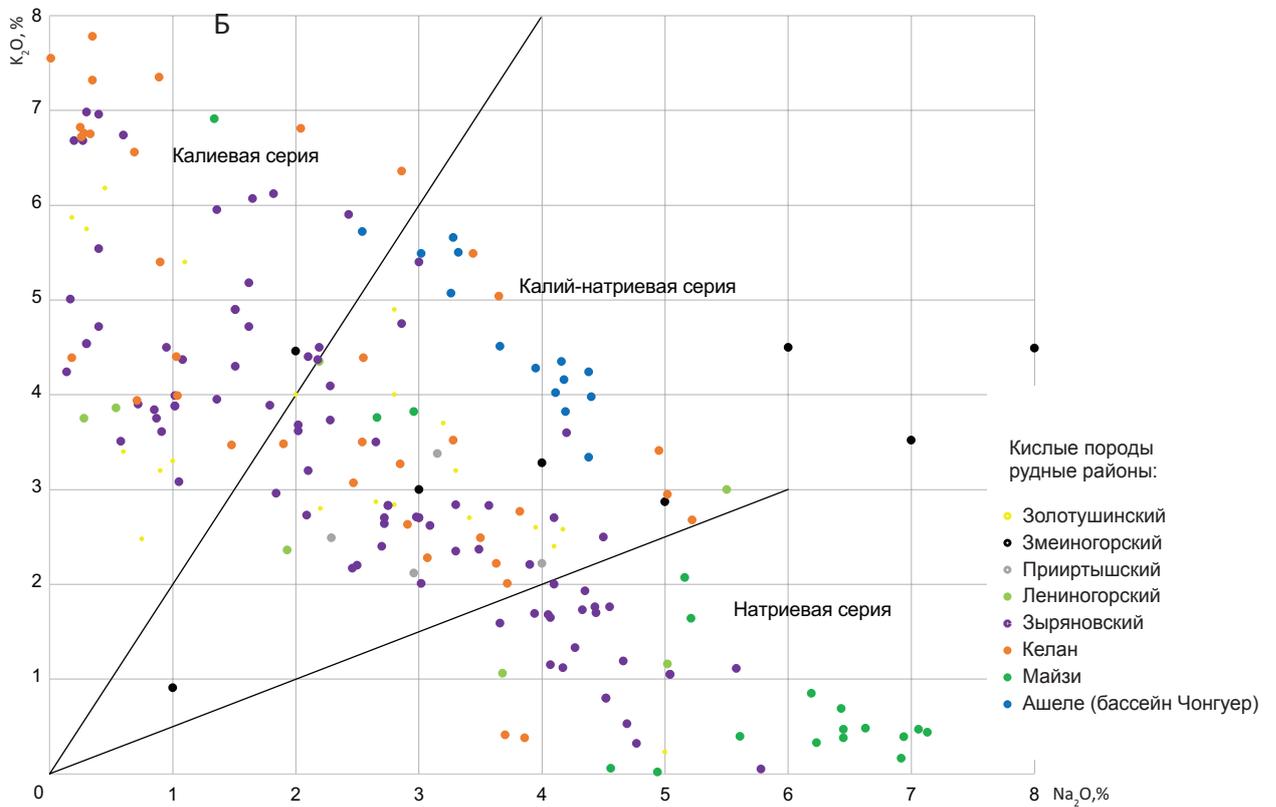
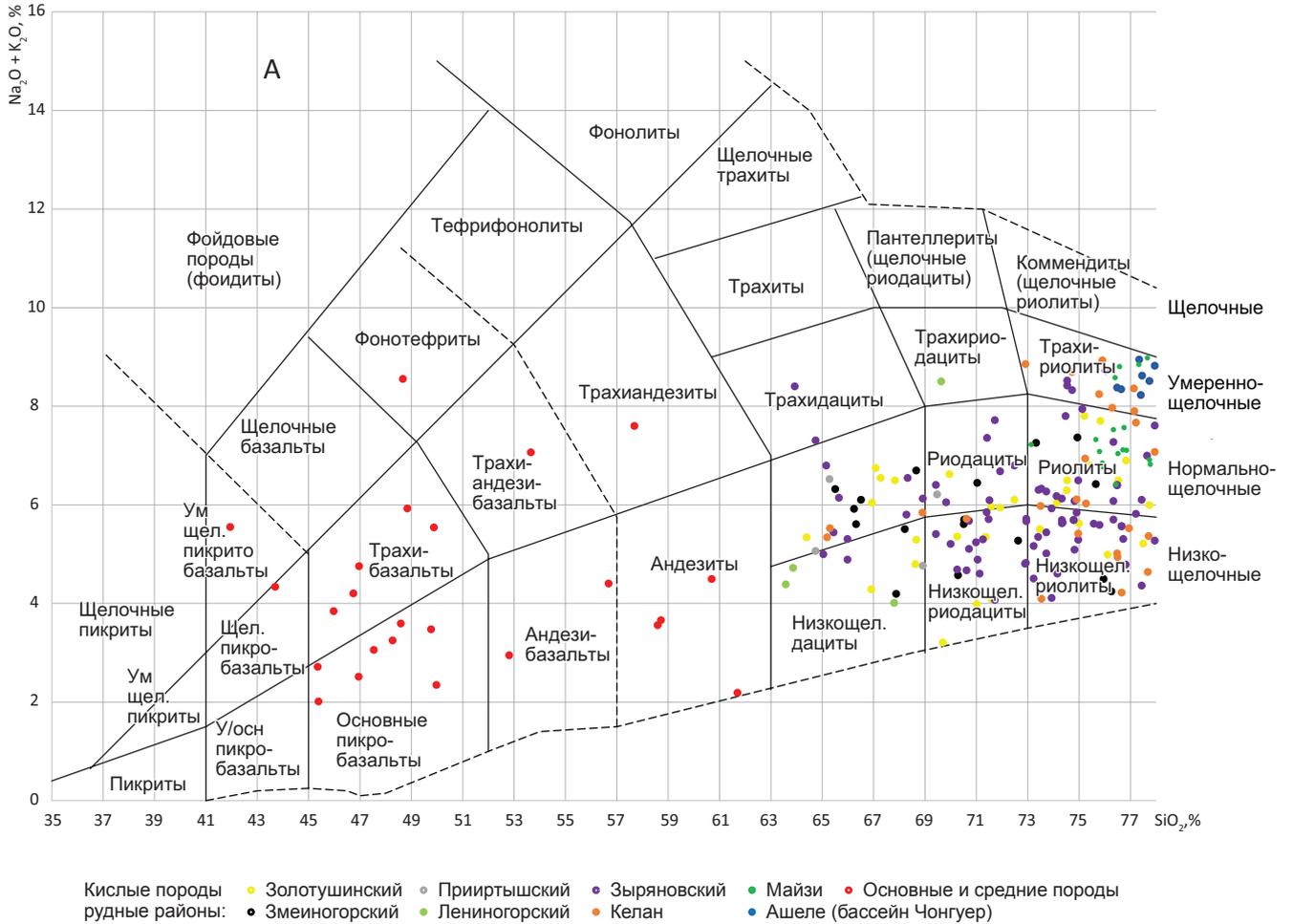
3. Рубцовский район: анализы показывают умеренно калиевый характер (K_2O/Na_2O часто 1–2) и высокую магнезиальность (> 5).

4. Прииртышский район: данные представлены двумя типами: а. типичные кислые породы с высоким SiO_2 (> 70 %) и K_2O/Na_2O от 0,5 до 3,5; б. существенно основные разности ($SiO_2 \sim 35$ –60 %) с очень высокими содержаниями Fe_2O_3 (до 12,55 %) и MnO (до 14,78 % в одной из проб).

5. Район Ашеле: значения K_2O/Na_2O преимущественно очень низкие ($< 0,2$), что нехарактерно для основной массы кислых пород формации. Основные породы в этом районе (базальты/андезитобазальты) имеют низкие содержания щелочей и высокие MgO , CaO .

На рис. 10 представлены петрохимические диаграммы, иллюстрирующие состав и эволюционные тренды вулканогенных пород верхней базальт-риолитовой кремнисто-терригенной формации. Распределение точек на диаграмме TAS указывает на контрастный тип формации. Умеренное содержание щелочей ($Na_2O + K_2O$) при $SiO_2 > 60$ % отражает тенденцию к калиево-натриевому балансу. Диаграмма K_2O-Na_2O для кислых пород подчёркивает роль калиевой компоненты в эволюции кислых магм. Большинство образцов попадает в поле среднекалийевых известково-щелочных серий ($K_2O/Na_2O \approx 0,5$ –2). Диаграмма А. Мияширо чётко разделяет магматические серии. Точки образуют кластер в поле известково-щелочных серий, согласуясь

Месторождения рудных и нерудных полезных ископаемых



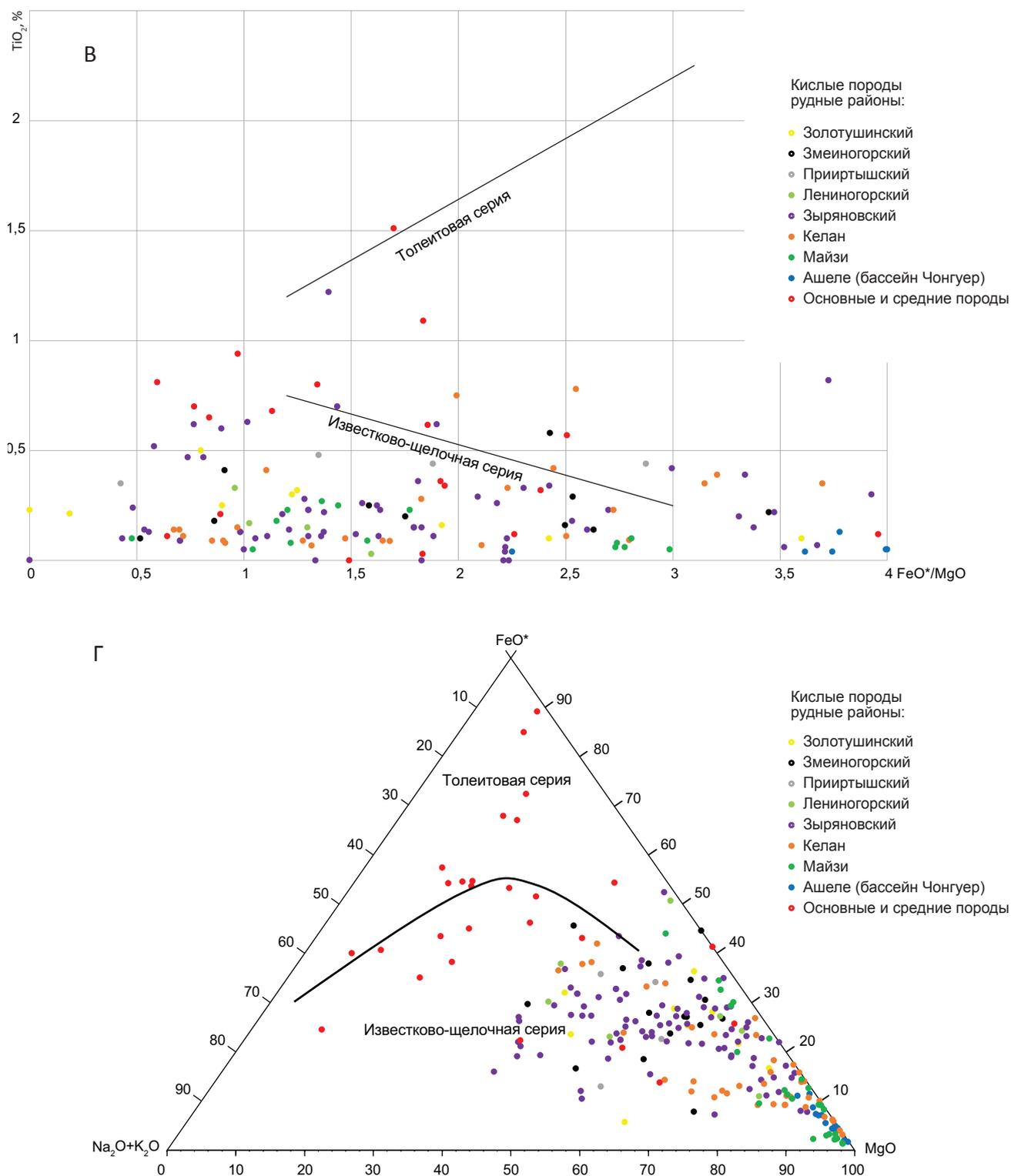
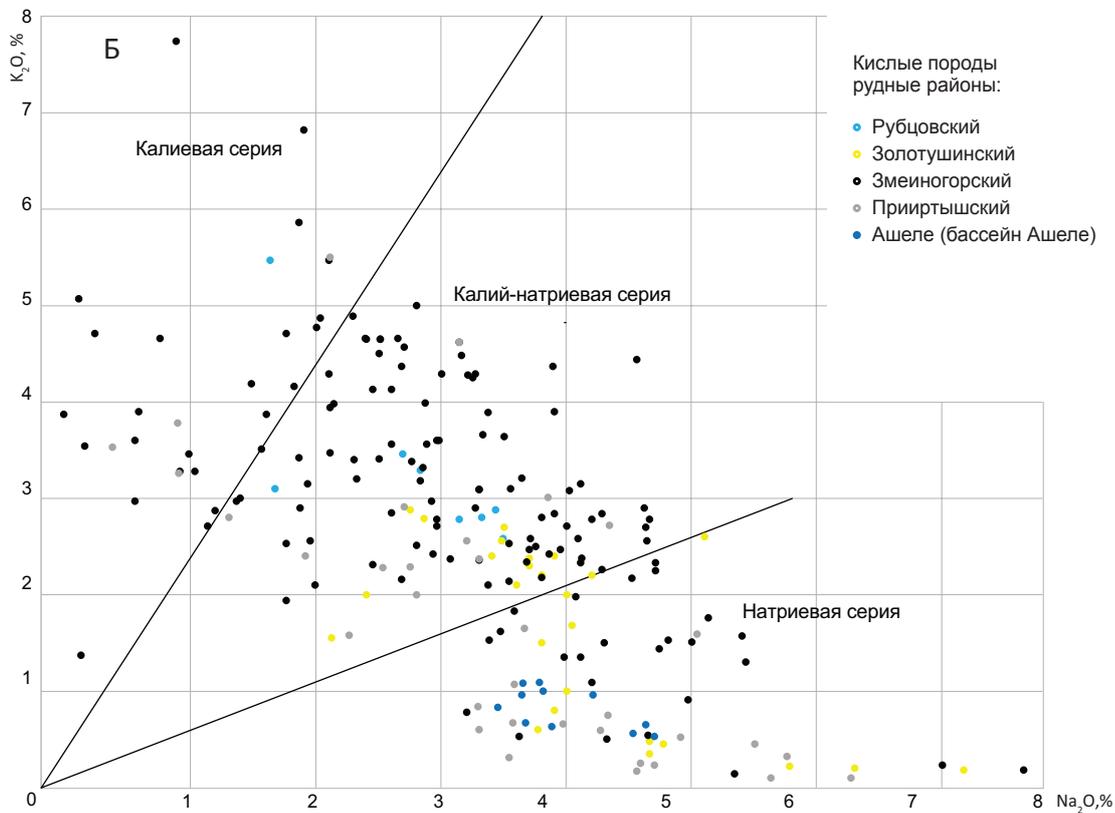
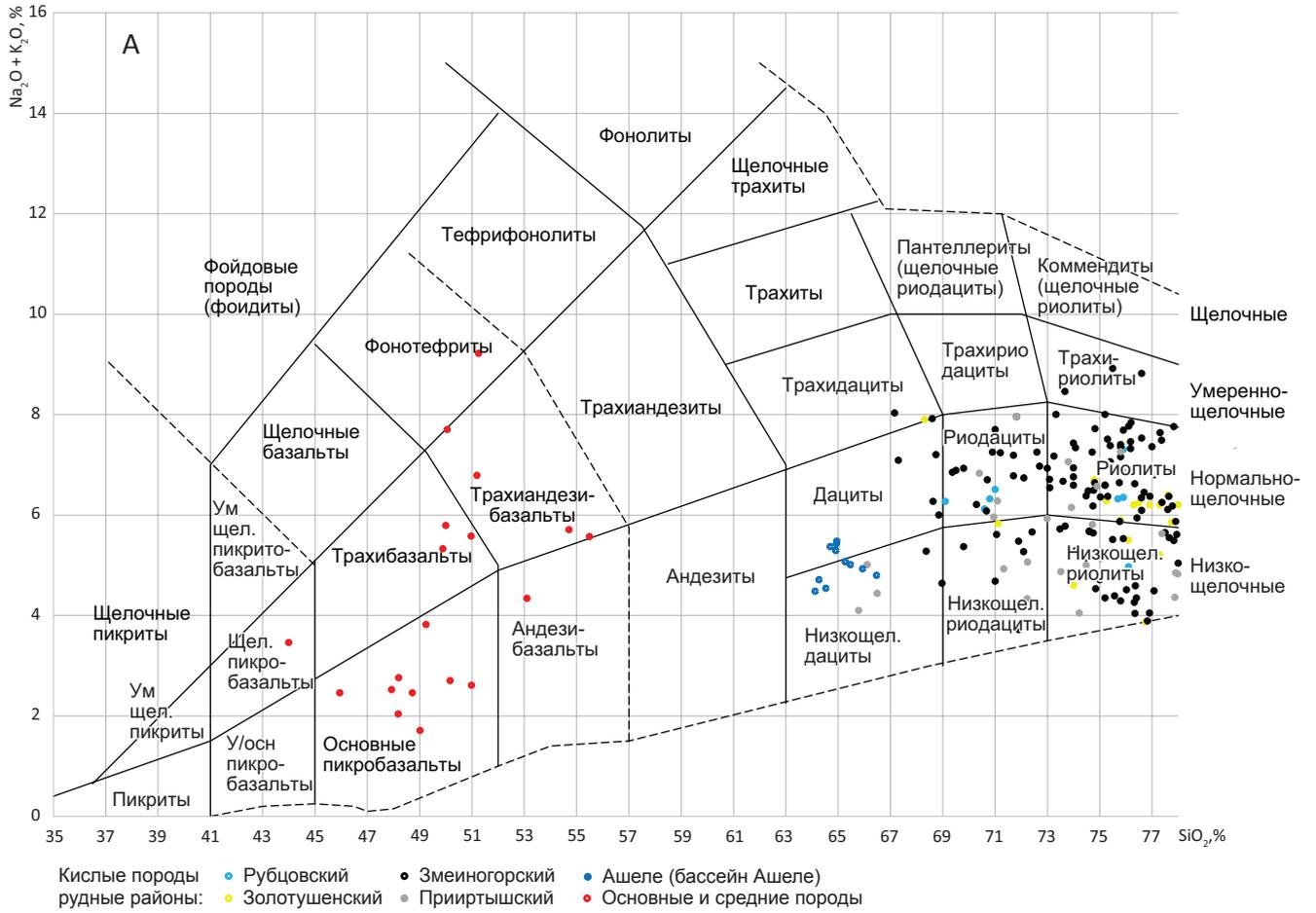


Рис. 9. Петрохимические особенности вулканогенных пород нижней базальтсодержащей андезит-дацит-риолитовой известково-кремнисто-терригенной формации:

А – диаграмма TAS (Total Alkali-Silica); Б – диаграмма K_2O-Na_2O для кислых магматических пород; В – диаграмма А. Мияширо для разделения толеитовых и известково-щелочных серий по соотношению $(FeO + 0,9Fe_2O_3)/MgO-TiO_2$; Г – диаграмма AFM (Alkali-FeO*-MgO) : $FeO^* = FeO + 0,9Fe_2O_3$

Месторождения рудных и нерудных полезных ископаемых



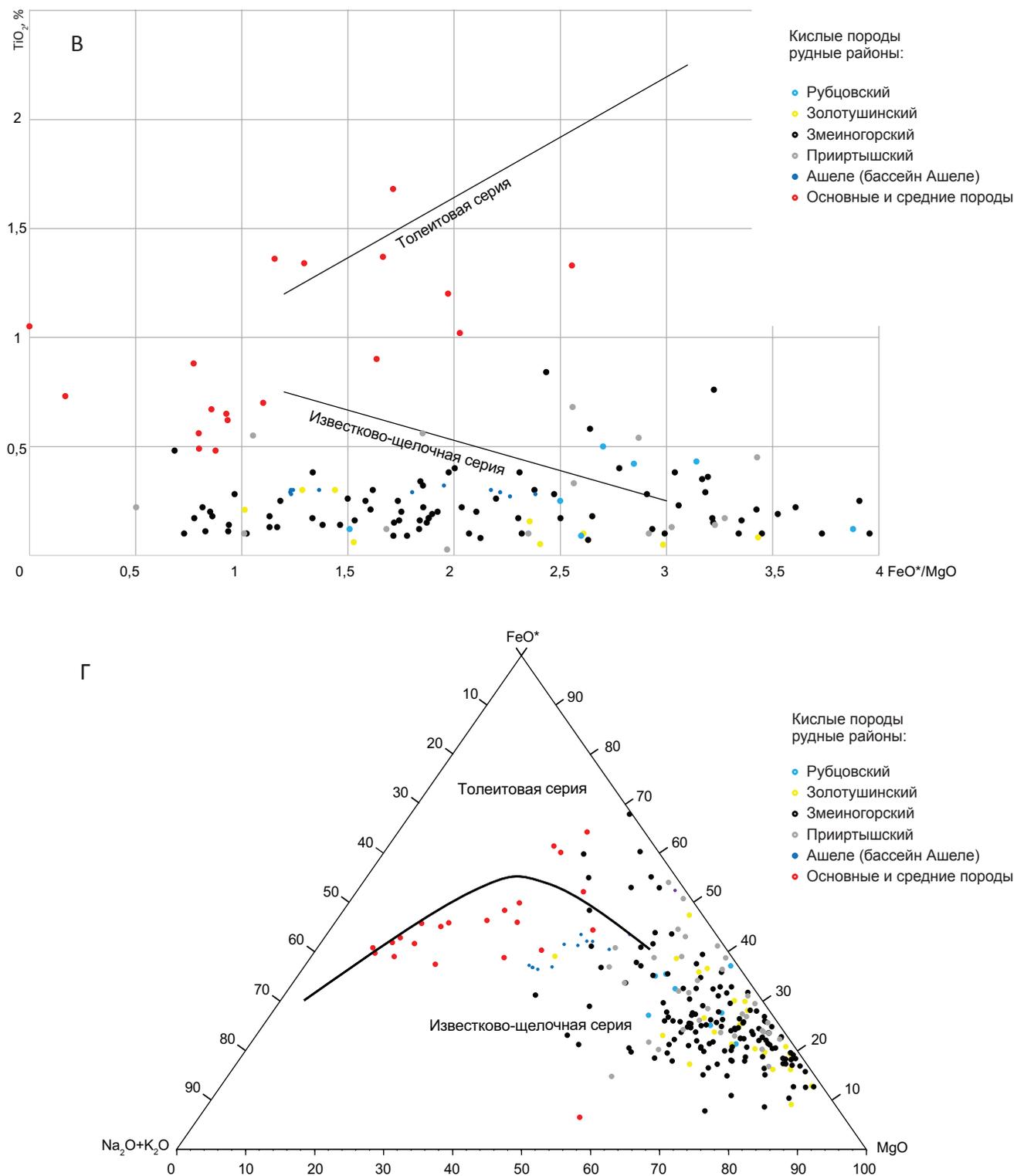


Рис. 10. Петрохимические особенности вулканогенных пород верхней базальт-риолитовой кремнисто-терригенной формации:

А – диаграмма TAS; Б – диаграмма K_2O-Na_2O для кислых магматических пород; В – диаграмма А. Мияширо для разделения толейтовых и известково-щелочных серий по соотношению $(FeO + 0,9Fe_2O_3)/MgO-TiO_2$; Г – диаграмма АФМ ($FeO^* = FeO + 0,9Fe_2O_3$)

с данными диаграмм TAS и K_2O-Na_2O . Также отмечаются низкие значения TiO_2 ($< 1,5 \%$) и умеренное $(FeO^*)/MgO$ (1–3). Распределение на диаграмме AFM подтверждает доминирование известково-щелочной тенденции. Тренд направлен от MgO -богатых составов (мафические магмы) к полю щелочей (кислые дифференциаты). Отсутствие значительного обогащения FeO^* исключает толеитовую природу.

Следовательно, верхняя базальт-риолитовая кремнисто-терригенная формация является контрастной, относится к калиево-натриевой серии, при почти равном соотношении калия и натрия. Исключение составляют кислые породы, развитые в пределах рудного района Ашеле. Вулканогенные породы относятся к известково-щелочной серии.

Проанализировав петрохимические особенности вулканогенных пород нижней и верхней формаций, можно выделить как сходства, так и различия.

Общие черты:

- доминирование пород кислого состава: обе формации характеризуются преобладанием кислых вулканитов (риолиты, риодациты, дациты) с высоким содержанием SiO_2 (65–85 %);

- щелочная вариабельность: в обеих формациях наблюдается широкий разброс по щёлочности ($K_2O + Na_2O = 1–15 \%$) и соотношению K_2O/Na_2O (от 0,1 до > 8). Вулканогенные породы обеих формаций относятся к известково-щелочной серии.

- дифференциация магм: высокие значения параметра $(FeO + 0,9Fe_2O_3)/MgO$ (> 10) в обеих формациях указывают на кристаллизационную дифференциацию. Верхняя формация демонстрирует более интенсивную дифференциацию, а нижняя включает менее эволюционировавшие разности.

Ключевые различия:

- нижняя формация последовательная, имеет калиевую специализацию, а верхняя – контрастная калиево-натриевая;

- содержание глинозёма (Al_2O_3) в нижней формации умеренное (10–14 %), а в верхней формации этот диапазон значительно шире – от 8 до 20 %.

Геодинамическая обстановка формирования. Полученные петрохимические особенности вулканогенных пород важны для рекон-

струкции геодинамической обстановки формирования исследуемых формаций. Месторождения типа VMS образуются в различных условиях [40, 41, 53]. Генезис и условия образования этих объектов в пределах Большого Алтая подробно изучается российскими, казахстанскими и китайскими исследователями [5, 7, 16, 17, 20–22, 26, 32, 34, 38, 47, 56, 65].

Приведённые выше геохимические данные по вулканогенным породам содержат ряд характерных признаков, указывающих на их формирование в рифтогенной обстановке. Прежде всего, это проявляется в выраженной биполярности состава пород, где наряду с преобладающими высококремнезёмистыми кислыми разностями присутствуют подчинённые основные породы, что типично для континентальных рифтовых зон. Особенно показательно присутствие в нижней формации андезибазальтов с повышенными содержаниями TiO_2 (до 1,5 %) и железа, что характерно для магм, связанных с растяжением коры.

Также важным аргументом в пользу данной гипотезы служит резкая изменчивость щёлочности пород как между формациями, так и внутри них. В нижней формации отмечаются крайние значения – от резко калиевых (в Зырянском районе) до натриевых разностей (бассейн Чонгуэр), что отражает сложные процессы взаимодействия коровых и мантийных расплавов в условиях растяжения. Верхняя формация демонстрирует более однородную, но всё же вариабельную щелочную специализацию, что может указывать на более зрелые стадии рифтогенеза с преобладанием коровых источников.

Характер дифференциации магм также подтверждает рифтогенную модель. Высокие значения параметра $(FeO + 0,9Fe_2O_3)/MgO$ часто > 10 , особенно в кислых разностях верхней формации, свидетельствуют о длительной эволюции расплавов в магматических камерах, что типично для рифтовых структур с их продолжительной тектономагматической активностью. При этом присутствие в нижней формации менее дифференцированных разностей $((0,9Fe_2O_3 + FeO)/MgO < 1)$ может отражать начальные этапы рифтинга с поступлением более примитивных мантийных магм.

Особого внимания заслуживают уникальные $Fe-Mn$ -обогащённые основные породы Прииртышья в верхней формации. Их состав с высокими содержаниями Fe_2O_2 (до 12,55 %) и MnO (до 14,78 %) может быть связан с процессами контаминации ко-

ровых материалов или воздействием флюидов в условиях рифта, где часто развивается интенсивная гидротермальная деятельность. Аналогично аномально высокие содержания летучих компонентов (H_2O до 6,62 %, CO_2 до 4,29 %) в породах бассейна Ашеле верхней формации указывают на активную роль флюидного режима, характерного для рифтовых систем.

Пространственная зональность геохимических параметров также является индикатором рифтогенной обстановки. Резкие различия между районами могут отражать развитие отдельных сегментов рифта с разной степенью контаминации корового материала и различной глубиной заложения магматических очагов. При этом общая тенденция к увеличению степени дифференциации и однородности состава от нижней к верхней формации соответствует эволюции рифтогенной системы от начальных стадий растяжения к более зрелым этапам развития.

Вывод о том, что вулканогенные породы рудоносных формаций сформировались в рифтогенной обстановке согласуются с результатами многих исследователей Большого Алтая. Так, в последних работах китайских учёных [56], изучающих породы, слагающие формацию Кангбутибао, была предложена модель формирования этих отложений. Эти исследователи считают, что большой объём кислых пород сформировался в условиях континентальной рифтовой дуги или задугового бассейна, а локальная экстенциональная обстановка была вызвана откатыванием плит Палеоазиатского океана. При таких обстоятельствах подъёму мафической магмы способствовали рифтогенные условия, которые впоследствии вызвали плавление как древней, так и ювенильной коры, что привело к активному континентальному дуговому магматизму. В частности, плавление более молодой ювенильной коры и одновременный подъём с ней мафической магмы привели к образованию бимодальных вулканических пород Кангбутибао.

Некоторые исследователи [63] высказывают точку зрения, что медно-цинково-колчеданные месторождения и рудопроявления, локализованные в пределах формации Ашеле, сформировались в островодужный этап развития структур.

Закономерности размещения месторождений типа VMS. Для анализа размещения месторождений типа VMS в пределах Большого Алтая была создана база, включающая данные по 57 объектам, в которой содержится информация о геологических

и рудных формациях, возрасте оруденения, а также средние содержания и запасы меди, свинца, цинка, золота и серебра. Собранные материалы позволили выявить ряд важных особенностей и закономерностей.

Главной особенностью является чёткая приуроченность всех колчеданно-полиметаллических, медно-цинковых и полиметаллических месторождений к девонскому периоду, что указывает на единый этап рудообразования. Российско-казахстанские объекты (Корбалихинское, Рубцовское, Таловское, Тишинское, Риддер-Сокольное, Зыряновское) преимущественно относятся к среднему девону (эйфельский-живетский-франский ярусы). Китайские и Монгольские месторождения (Ашеле, Кекетале, Темирт, Вуласигу, Дадонггу, Дулаан кхар уул) часто имеют датировки в диапазоне ~ 380–410 млн лет (ранний–средний девон), подтверждая синхронность процессов в разных частях Большого Алтая (см. рис. 4) [10, 20, 34, 42–44, 51, 55, 56, 58, 64, 66–70, 71].

Второй важной особенностью является разнообразие типов руд при их общей комплексности, что следует из описания типовых месторождений. В российской и казахстанской частях преобладают классические колчеданно-полиметаллические месторождения с богатыми запасами цинка, свинца, меди, часто с попутным серебром и золотом. Встречаются также барит-полиметаллические месторождения, отличающиеся высокими содержаниями золота и серебра. Китайский сегмент демонстрирует большее разнообразие: здесь распространены не только медно-цинковые и свинцово-цинковые колчеданные залежи, но и сложные железо-медно-свинцово-цинковые объекты [64, 68]. Монгольские месторождения также имеют полиметаллический состав. Практически все значимые месторождения содержат три и более ценных компонента (свинец, цинк, медь, серебро, золото), что делает руды комплексными [36, 39, 57].

С рудоносными геологическими формациями ассоциируют две соответствующие рудные формации: медно-свинцово-цинковая колчеданная рудная формация (нижняя) и колчедансодержащая рудная формация (верхняя). Общие суммарные запасы по уровням локализации оруденения сходны, но верхний уровень имеет медно-цинковую специализацию, а нижний – свинцово-цинковую (рис. 11).

Третья особенность касается распределения масштабов оруденения. Анализ запасов показал,

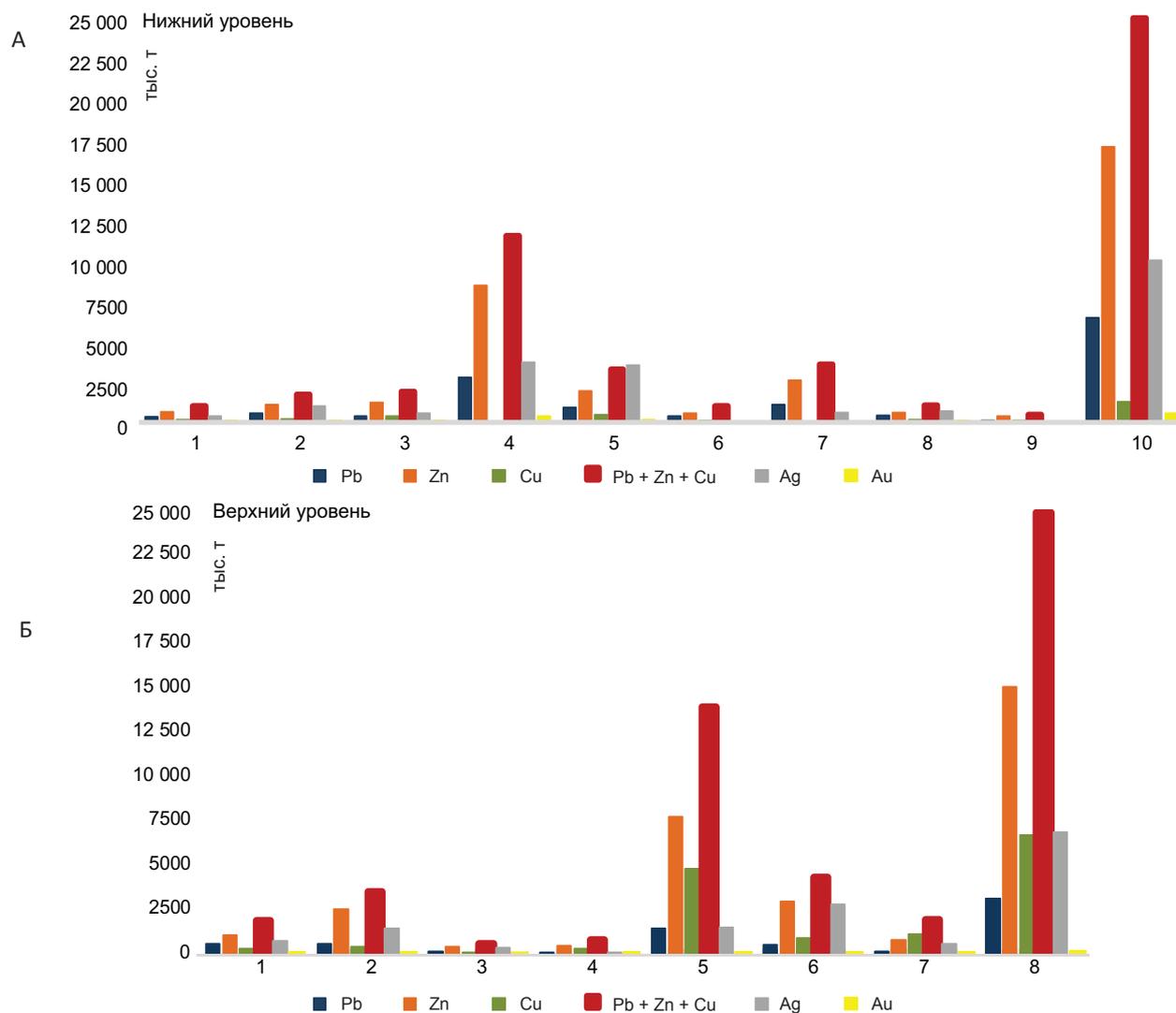


Рис. 11. Запасы металлов по уровням локализации оруденения в пределах Большого Алтая (месторождения типа VMS):

А – Нижний уровень, рудные районы: 1 – Рубцовский, 2 – Змеиногорский, 3 – Золотушинский, 4 – Лениногорский, 5 – Зыряновский, 6 – Келан, 7 – Майзи, 8 – Дулаан кхар уул, 9 – Хох адар, 10 – Нижний уровень: всего; Б – Верхний уровень, рудные районы: 1 – Рубцовский, 2 – Змеиногорский, 3 – Золотушинский, 4 – Лениногорский, 5 – Прииртышский, 6 – Зыряновский, 7 – Ашеле (бассейн Ашеле), 8 – Верхний уровень: всего

что наиболее крупные скопления металлов сосредоточены в центральной части Большого Алтая (Прииртышский и Лениногорский рудные районы), а на северо-запад и юго-восток их количество значительно снижается (рис. 12, А). Продуктивность (тыс. т/км²) рудоносных формаций колеблется от 0,8 до 3,7 в юго-восточной части Большого Алтая, от 3,5 до 5,6 в северо-западной и дости-

гает своих максимальных значений (10,2–26,8) в центральной (см. рис. 12, Б).

Китайские исследователи [56] называют причиной того, что в месторождениях типа VMS, локализованных в пределах формации Кангбутибао, выявлены небольшие запасы меди, свинца, цинка в сравнении с аналогичными объектами по всему миру, неблагоприятные условия формирования

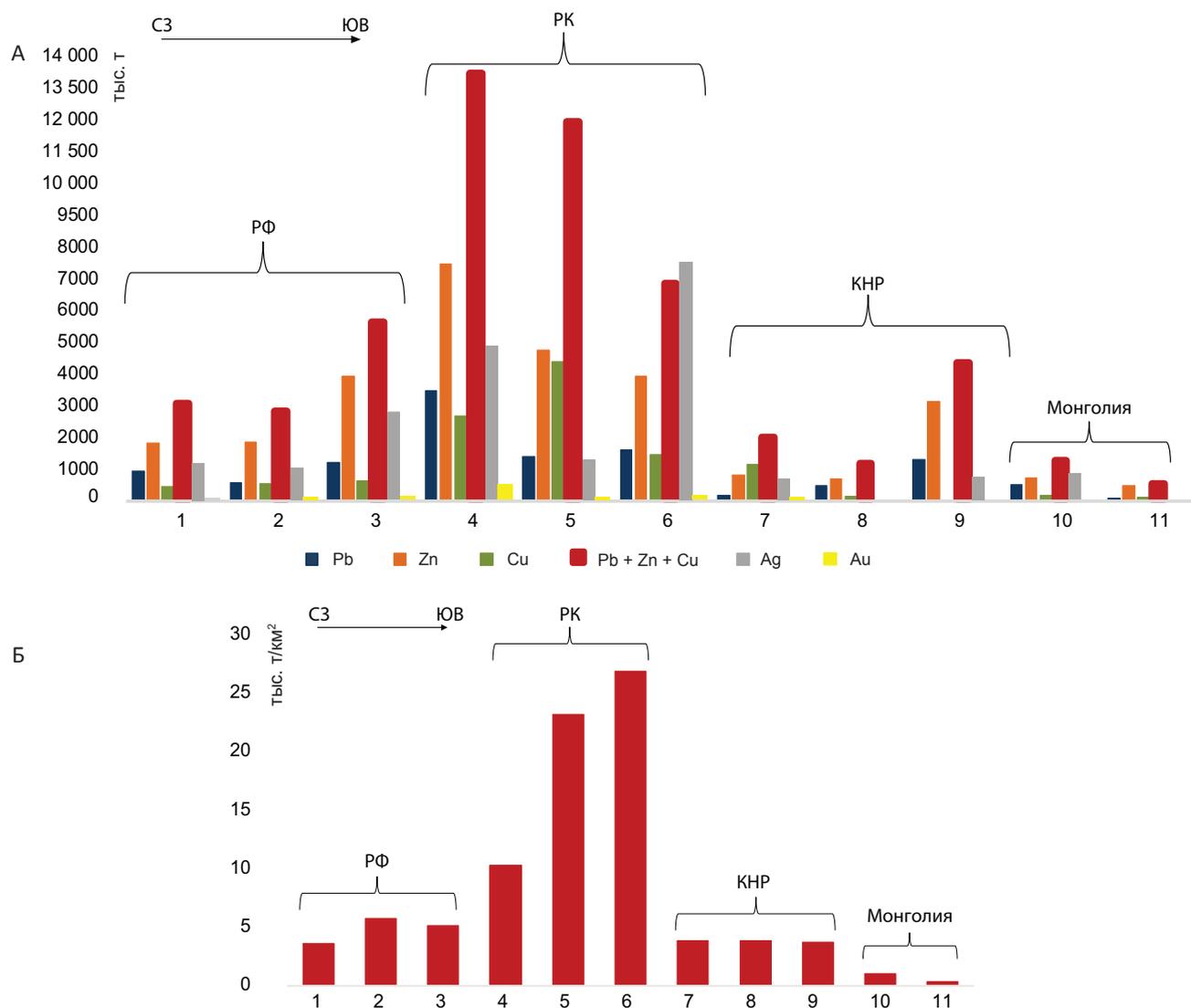


Рис. 12. Распределение оруденения в пределах рудных районов Большого Алтая (месторождения типа VMS):

А – запасы свинца, цинка, меди, серебра и золота, рудные районы: 1 – Рубцовский, 2 – Золотушинский, 3 – Змеиногорский, 4 – Лениногорский, 5 – Прииртышский, 6 – Зыряновский, 7 – Ашеле, 8 – Келан, 9 – Майзи, 10 – Дулаан кхар уул, 11 – Хох адар; Б – продуктивность рудных формаций, рудные районы: 1 – Рубцовский, 2 – Золотушинский, 3 – Змеиногорский, 4 – Лениногорский, 5 – Прииртышский, 6 – Зыряновский, 7 – Ашеле, 8 – Келан, 9 – Майзи, 10 – Дулаан кхар уул, 11 – Хох адар

оруденения. Они сделали вывод, что подстилающие вулканогенно-осадочные породы характеризуются низкими содержаниями металлов и были сформированы в условиях низкого теплового потока, что сделало невозможным эффективную гидротермальную инфильтрацию и циркуляцию.

Обсуждение результатов. История термина «Большой Алтай» отражает эволюцию научного

понимания этой горной системы как единого геологического и металлогенического региона, охватывающего территории Российской Федерации, Республики Казахстан, Китайской Народной Республики и Монголии. Исследование полиметаллических месторождений этого региона имеет многовековую историю, тесно связанную с промышленным развитием, геологическими открытиями и

международным сотрудничеством. Большой Алтай известен богатыми залежами свинца, цинка, меди, серебра, золота и редких металлов. В его пределах в настоящее время выявлены 16 крупных колчеданно-полиметаллических месторождений типа VMS. В тексте статьи приведены описания типовых месторождений, выявленных в пределах казахстанской и китайской частей Большого Алтая (Тишинское, Малеевское, Ашеле и Кекетале).

Российско-казахстанская часть Большого Алтая представлена в основном «классическими» девонскими колчеданными месторождениями рудноалтайского типа. Объекты барит-полиметаллического типа характеризуются повышенными содержаниями золота и серебра. Китайская часть (особенно рудный район Келан) характеризуется большим разнообразием типов, часто более сложной геологией и метаморфизмом руд, а также наличием железорудных объектов (Талате, Абагонг, Вуласигу). Данные по месторождениям Монгольской части менее детальны, но в настоящее время известно крупное полиметаллическое месторождение с золотом – Дулаан кхар уул. Таким образом, несмотря на общую девонскую природу рудообразования в рамках Большого Алтая, каждый сегмент обладает специфическими чертами в типах месторождений, ведущих полезных компонентах и степени их геологической переработки.

Необходимо отметить, что достигнутые в последние годы результаты геологоразведочных работ не привели к коренному улучшению обстановки с сырьевой базой на Большом Алтае. В последние несколько десятков лет здесь не выявлено ни одного крупного месторождения. Однако Большой Алтай остаётся перспективным регионом для открытия новых VMS-месторождений благодаря благоприятной геологической позиции, наличию крупных месторождений, а также развитию технологий поисков и разведки. Ключевыми факторами успеха станут межгосударственные взаимодействия (совместные проекты стран Большого Алтая в обмене геологическими данными, инвестиции в ГРП). Открытия могут укрепить позиции региона как важного источника цветных, благородных и редких металлов.

Изучение месторождений типа VMS в пределах Большого Алтая имеет как теоретическое значение для понимания процессов рудообразования, так и практическое – для совершенствования методов поиска и оценки подобных объектов. Для более детального анализа условий их формирова-

ния необходимо проводить дальнейшее изучение. В частности, собрать и обобщить информацию по:

- геохронологическим и изотопным исследованиям;
- минералогии и микроанализу руд (LA-ICP-MS, SEM-EDS);
- другим VMS-провинциям (например, Салаирской и Улугуйской металлогеническим зонам, Иберийскому пиритовому поясу и Канадскому щиту).

Выводы.

1. Месторождения, выявленные в пределах Рудноалтайской металлогенической зоны, Китайского и Монгольского Алтая, локализуются в вулканогенно-осадочных и вулканогенных породах рудоносных формаций девонского возраста, которые соответствуют двум циклам вулканической активности в регионе. С северо-запада на юго-восток отмечается увеличение возраста рудовмещающих пород, Китайский Алтай является продолжением Рудноалтайской МЗ на юго-востоке.

2. Проанализированный комплекс петрохимических характеристик – биполярность состава, вариабельность щёлочности, особенности дифференциации магм и пространственное распределение геохимических типов – убедительно свидетельствует о формировании вулканогенных пород обеих формаций в условиях рифтогенеза. Эти данные хорошо согласуются с современными представлениями о геодинамической эволюции Большого Алтая в палеозое, когда регион переживал этап растяжения коры с формированием рифтогенных структур, контролировавших как магматизм, так и сопутствующее рудообразование.

3. Были выделены 11 рудных районов, проведён анализ запасов месторождений, продуктивности рудоносных формаций, а также выделены две рудные формации (свинцово-цинковая колчедансодержащая и медно-свинцово-цинковая колчеданная).

4. Отмечается чёткая приуроченность крупных и значимых месторождений к девонскому периоду (около 360–410 млн лет назад). Подавляющее большинство объектов, таких как Корбалихинское, Рубцовское, Риддер-Сокольное, Тишинское, Малеевское в российской/казахстанской части, Ашеле и Кекетале в Китае, Дулаан кхар уул в Монголии, сформировались именно в это время. Это указывает на мощный и синхронный эпизод рудообразования, связанный с интенсивным вулканизмом и тектонической активностью.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Беспнаев Х. А.* Атлас месторождений полезных ископаемых Казахстана. – Алматы, 2004. – 141 с.
2. *Беспнаев Х. А., Полянский Н. В., Ганженко Т. Д.* Геология и металлогения юго-западного Алтая (в пределах территории Казахстана и Китая). – Алматы : Гылым, 1997. – 288 с.
3. *Вейц Б. И.* О генетической связи полиметаллического оруденения Рудного Алтая с девонским вулканизмом // Изв. АН СССР. Сер. геол. – 1953. – № 7. – С. 105–115.
4. *Викентьев И. В., Куйбида М. Л., Яковлев В. А.* Рудноалтайский колчеданно-полиметаллический пояс (Россия, Казахстан) и факторы его формирования // Геология рудных месторождений. – 2024. – Т. 66, № 6. – С. 567–603.
5. *Гаськов И. В.* Особенности развития колчеданных рудно-магматических систем в островодужных обстановках Рудного Алтая и Южного Урала // Литосфера. – 2015. – № 2. – С. 17–39.
6. *Горжевский Д. И., Чекваидзе В. Б., Исакович И. З.* Типы полиметаллических месторождений Рудного Алтая, их происхождение и методы поисков. – М. : Недра, 1977. – 197 с.
7. *Демина Л. И., Промышлова М. Ю.* Геодинамическая природа девонской рудоносной базальт-риолитовой формации Рудного Алтая // Тектоника и геофизика литосферы : Материалы XXXV тектонического совещания. – М. : ГЕОС, 2002. – Т. 1. – С. 163–166.
8. *Дергачев А. Л.* Эволюция вулканогенного колчеданообразования в истории Земли : специальность 25.00.11 «Геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения» : автореф. дис. на соискание учёной степени д-ра геол.-минер. наук / Дергачев Александр Лукич. – М. : МГУ, 2010. – 262 с.
9. *Дьячков Б. А., Мизерная М. А., Пяткова А. П., Бисатова А. Е., Мирошникова А. П., Кузьмина О. Н., Зимановская Н. А., Ойцева Т. А., Черненко З. И.* К проблеме формирования колчеданно-полиметаллических месторождений Рудного Алтая // Отечественная геология. – 2021. – № 5. – С. 3–16.
10. *Дьячков Б. А., Титов Д. В., Сапаргалиев Е. М.* Рудные пояса Большого Алтая и оценка их перспектив // Геология рудных месторождений. – 2009. – Т. 51, № 3. – С. 222–238.
11. *Еремин Н. И., Дергачев А. Л., Позднякова Н. В., Сергеева Н. Е.* Крупные и особо крупные колчеданные месторождения вулканической ассоциации // Геология рудных месторождений. – 2004. – Т. 46, № 2. – С. 107–127.
12. *Калинин Ю. А., Ковалев К. Р., Сердюков А. Н., Гладков А. С., Сухоруков В. П., Наумов Е. А., Травин А. В., Семенова Д. В., Серебряков Е. В., Греку Е. Д.* Возрастные рубежи и металлогеническое прогнозирование золоторудных месторождений Акжал-Бок-Ашалинской рудной зоны (Алтайская аккреционно-коллизонная система) // Геодинамика и тектонофизика. – 2021. – Т. 12, № 2. – С. 392–408.
13. *Ковалев К. Р., Калинин Ю. А., Полюнов В. И., Кыдырбеков Е. Л., Борисенко А. С., Наумов Е. А., Нетесов М. И., Клименко А. Г., Колесникова М. К.* Суздальское золото-сульфидное месторождение в черносланцевых толщах Восточного Казахстана // Геология рудных месторождений. – 2012. – Т. 54, № 4. – С. 305–328.
14. *Кудрявцева Н. Г.* Ряды рудных формаций месторождений цветных и благородных металлов в различных геодинамических обстановках // Руды и металлы. – 2001. – № 6. – С. 44–52.
15. *Кудрявцева Н. Г., Кузнецов В. В., Галямов А. Л.* Структурно-формационное районирование российской части Рудного Алтая как основа средне-масштабных прогнозных построений // Руды и металлы. – 2011. – № 3–4. – С. 103–104.
16. *Кудрявцева Н. Г., Кузнецов В. В., Серавина Т. В.* Геодинамические обстановки формирования месторождений цветных и благородных металлов Большого Алтая // Отечественная геология. – 2022. – № 2. – С. 12–23.
17. *Кудрявцева Н. Г., Кузнецов В. В., Серавина Т. В., Иваненкова Е. В.* Структурно-формационное и металлогеническое районирование Большого Алтая // Отечественная геология. – 2025. – № 2. – С. 50–60.
18. *Кузнецов В. В., Кудрявцева Н. Г., Галямов А. Л., Кузнецова С. В., Серавина Т. В.* Геолого-генетические основы прогноза и поисков колчеданно-полиметаллических месторождений рудноалтайского типа // Отечественная геология. – 2014. – № 2. – С. 30–38.
19. *Кузнецов В. В., Кудрявцева Н. Г., Серавина Т. В.* Геологические формации и структурно-формационное районирование Российской части Рудного Алтая // Материалы V международной научной конференции «Корреляция алтаид и уралид: глубинное строение литосферы, стратиграфия, магматизм, метаморфизм, геодинамика и металлогения». – Новосибирск, 2020. – С. 52–54.
20. *Кузнецов В. В., Кудрявцева Н. Г., Серавина Т. В., Мурзин О. В., Корчагина Д. А., Кузнецова С. В., Милев С. А.* Основы прогноза и поисков колчеданно-полиметаллических месторождений Рудного Алтая. – М. : ЦНИГРИ, 2019. – 206 с.
21. *Кузнецова С. В., Серавина Т. В.* Условия локализации, особенности вещественного состава руд и строение сульфидного холма Западно-Захаровского месторождения (Рудноалтайская минерагеническая зона) // Геология и охрана недр. – 2020. – № 1. – С. 19–30.

22. Куйбида М. Л. Базальтовый вулканизм системы островная дуга–задуговой бассейн (Алтайская активная окраина) // Тихоокеанская геология. – 2019. – Т. 38, № 3. – С. 108–120.
23. Металлогенический кодекс России. – М. : Геокарт-ГЕОС, 2012. – 126 с.
24. Пугачева И. П., Филатов Е. И., Колдаева Т. Г. Девонская вулкано-плутоническая ассоциация Рудного Алтая (на примере Змеиногорского рудного района) // Изв. АН СССР. Сер. геол. – 1981. – № 11. – С. 45–54.
25. Ручкин Г. В., Конкин В. Д., Кузнецов В. В., Пугачева И. П. Параметрические геолого-поисковые модели колчеданно-полиметаллических месторождений. – М. : ЦНИГРИ, 1992. – 150 с.
26. Серавина Т. В. Геологическое строение и петрохимические особенности рудоносных вулканогенно-осадочных отложений Березовогорского рудного поля (Рудный Алтай) // Отечественная геология. – 2015. – № 4. – С. 3–8.
27. Серавина Т. В., Кузнецов В. В., Кузнецова С. В., Филатова Л. К., Иваненкова Е. В. Колчеданно-полиметаллическое оруденение Рудного Алтая типа VMS на примере Зайцевского рудного поля (Змеиногорский рудный район) // Отечественная геология. – 2025. – № 2. – С. 3–21.
28. Серавина Т. В., Кузнецова С. В., Филатова Л. К. Особенности вещественного состава вмещающих пород и руд Лазурского рудного поля (Змеиногорский рудный район, Рудноалтайская минерагеническая зона) // Отечественная геология. – 2021. – № 3–4. – С. 36–47.
29. Серавина Т. В., Кузнецова С. В., Филатова Л. К., Донец А. И., Конкин В. Д. Особенности локализации колчеданно-полиметаллических руд Тушканихинского месторождения (Рудный Алтай) // Руды и металлы. – 2022. – № 4. – С. 102–118.
30. Скляров Е. В. Интерпретация геохимических данных. – М. : Интернет Инжиниринг, 2001. – 288 с.
31. Филатова Л. К., Филатов Е. И. Внутреннее строение рудовмещающих кремнекислых вулканогенных образований (на примере девонских вулканигов Рудного Алтая) // Материалы XII научно-практической конференции «Научно-методические основы прогноза, поисков и оценки месторождений алмазов, благородных и цветных металлов». – М., 2023. – С. 490–491.
32. Чернышев И. В., Викентьев И. В., Чугаев А. В. Источники металлов колчеданных месторождений Рудного Алтая по данным высокоточного MC-ICP-MS изучения изотопного состава свинца // Геохимия. – 2023. – Т. 68, № 6. – С. 545–569.
33. Щерба Г. Н., Беспяев Х. А., Дьячков Б. А. [и др.] Большой Алтай (геология и металлогения). Кн. 2. Металлогения. – Алматы : РИО ВАК РК, 2000. – 400 с.
34. Broussolle A., Sun M., Schulmann K., Guy A., Aguilar C., Štípská P., Jiang Y. D., Yu Y., Xiao W. J. Are the Chinese Altai “terranes” the result of juxtaposition of different crustal levels during Late Devonian and Permian orogenesis? // Gondwana Res. – 2019. – 66. – P. 183–206.
35. Chekalin V. M., Dyachkov B. A. Rudny Altai base-metal belt: localization of massive sulfide mineralization // Geology of Ore Deposits. – 2013. – V. 55, № 6. – P. 438–454.
36. Dorjgotov D., Batdorj N., Tamir B. Distribution principles and characteristics of polymetal deposits of Mongolia // Mongolian Geoscientist journal. – 2011. – 37. – P. 167–179.
37. Dyachkov B. A., Bissatova A. Y., Mizernaya M. A., Khromykh S. V., Oitseva T. A., Kuzmina O. N., Zimanovskaya N. A., Aitbayeva S. S. Mineralogical Tracers of Gold and Rare-Metal Mineralization in Eastern Kazakhstan // Minerals. – 2021. – 11. – P. 253.
38. Dyachkov B. A., Mizernaya M. A., Khromykh S. V., Bissatova A. Y., Oitseva T. A., Miroshnikova A. P., Frolova O. V., Kuzmina O. N., Zimanovskaya N. A., Pyatkova A. P., Zikirova K., Ageyeva O. V., Yeskaliyev Y. T. Geological History of the Great Altai: Implications for Mineral Exploration // Minerals. – 2022. – 12(6). – P. 744.
39. Erdenebayar J., Ogata T., Byambajav A., Ukhnaa G., Baldorj B., Komine Y., Yamamoto M., Mizuta T. Geological and Geochemical study on Volcanogenic Massive Sulfide Deposits in Western Mongolia // Conference paper : GSA Annual Meeting in Denver, Colorado, USA. – 2016.
40. Franklin J. M., Gibson H. L., Jonasson I. R., Galley A. G. Volcanogenic massive sulfide deposits // Economic Geology 100th anniversary volume, 1905–2005. – 2005. – P. 523–560.
41. Galley A. G., Hannington M., Jonasson I. R. Volcanogenic massive sulphide deposits, in Goodfellow, W.D., ed., Mineral deposits of Canada – A synthesis of major deposit-types, district metallogeny, the evolution of geological provinces, and exploration methods // Geological Association of Canada, Mineral Deposits Division. – 2007. – Special Publication 5. – P. 141–161.
42. Gao L. L., Chen C., Wang K. Y., Zhang X. B. Tectonic setting and geochronology of the Sarsuk Au polymetallic deposit in Xinjiang, NW China: Constraints from pyrite Re–Os, zircon U–Pb dating and Hf isotopes // Ore Geol. Rev. – 2020. – 124. – P. 103641.
43. Geng X. X., Yang F. Q., Chai F. M., Liu M., Guo X. J., Guo Z. L., Liu F., Zhang Z. X. LA-ICP-MS U–Pb dating of volcanic rocks from Dadonggou ore district on southern margin of Altai in Xinjiang and its geological implications // Mineral Deposits. – 2012. – 031 (5). – P. 1119–1131.
44. Geng X. X., Yang F. Q., Yang J. M., Huang C. K., Liu F., Chai F. M., Zhang Z. X. Characteristics of fluid

- inclusions in the Tiemurte Pb-Zn deposit, Altay, Xinjiang and its geological significance // *Acta Petrol. Sin.* – 2010. – 26 (03). – P. 695–706.
45. Gerel O., Pirajno F., Batkhisig B., Dostal J. Mineral Resources of Mongolia. – Singapore, Springer Nature Pte Ltd., 2021. – 461 p.
 46. Ivanov A. I., Naumov E. A., Kulikov D. A., Girfanov M. M., Seravina T. V., Fomina M. I. Contribution of FSBI «TSNIGRI» to the international cooperation of ROSNEDRA with the BRICS countries in the field of the geology and mineral resource study // *Разведка и охрана недр.* – 2024. – SPECIAL ISSUE. – С. 53–66.
 47. Kuibida M. L., Murzin O. V., Kruk N. N., Safonova I. Y., Sun M., Komiya T., Wong D., Aoki S., Murzina N. M., Nikolaeva I., Semenova D. V., Khlestov M., Shelepaev R. A., Kotler P. D., Yakovlev V. A., Naryzhnova A. V. Whole-rock geochemistry and U-Pb ages of Devonian bimodal-type rhyolites from the Rudny Altai, Russia: Petrogenesis and tectonic settings // *Gondwana Res.* – 2020. – V. 81. – P. 312–338.
 48. Large R. R. Australian volcanic-hosted massive sulfide deposits – features, styles, and genetic models // *Economic Geology.* – 1992. – V. 87. – P. 471–510.
 49. Li Q., Chai F. M., Yang F. Q., Yang J. J. Petrogenesis of the Kuwei Ni-Cu sulfide and Fe-Ti oxide-bearing mafic-ultramafic intrusions in Altay, Xinjiang, NW China // *Acta Petrol. Sin.* – 2015. – 31 (8). – P. 2211–2229.
 50. Liu F., Zhang Z. X., Li Q., Zhang C., Li C. New precise timing constraint for the Keketuohai No. 3 pegmatite in Xinjiang, China, and identification of its parental pluton // *Ore Geol. Rev.* – 2014. – 6. – P. 209–219.
 51. Niu L., Hong T., Xu X. W., Li H., Ke Q., Wang X. H., Ma Y. C. A revised stratigraphic and tectonic framework for the Ashele volcanogenic massive sulfide deposit in the southern Chinese Altay: Evidence from stratigraphic relationships and zircon geochronology // *Ore Geol. Rev.* – 2020. – 127. – P. 103814.
 52. Piercey S. J. A semipermeable interface model for the genesis of subseafloor replacement type volcanogenic massive sulfide (VMS) deposits // *Economic Geology.* – 2015. – V. 110. – P. 1655–1660.
 53. Pirajno F., Seltmann R., Yang Y. A review of mineral systems and associated tectonic settings of northern Xinjiang, NW China // *Geosci. Front.* – 2011. – 2 (2). – P. 157–185.
 54. Seltmann R., Porter T. M., Pirajno F. Geodynamics and metallogeny of the central Eurasian porphyry and related epithermal mineral systems: A review // *J. Asian Earth Sci.* – 2014. – 79. – P. 810–841.
 55. Sun C., Yang X. Y., Zhang H. S., Ji W. H., Chen B., Dong Z. C., Faisal M., Xi D. H. Tracing the formation and modification of the Keketale VMS-type Pb-Zn deposit, Altai Mountains: insights from ore deposit geology, geochronology, and magnetite geochemistry // *Ore Geol. Rev.* – 2022. – 144.
 56. Sun C., Zhang H., Yang X., Ji W., Chen B., Li Y., Dong Z., Faisal M., He Z. The role of long-lived arc volcanism in the formation of the VMS deposits: A case study of the volcanic-sedimentary sequence of Kangbutiebao formation associated with VMS deposits, Altai Mountains // *Gondwana Research.* – 2023. – V. 118. – P. 194–217.
 57. Tamir B., Dorjgotov D., Lkhagvatseren B. Geology and ore composition studies of Dulaan khar uul polymetal deposit // *Journal of Geological Issues.* – 2018. – (494) (16). – P. 76–83.
 58. Wan B., Zhang L. C., Xiao W. J. Geological and geochemical characteristics and ore genesis of the Keketale VMS Pb-Zn deposit, Southern Altai Metallogenic Belt, NW China // *Ore Geol. Rev.* – 2010. – 37 (2). – P. 114–126.
 59. Xiao W., Pirajno F., Seltmann R., Safonova I., Chen Y., Muhtar M. N. Metallogeny of the Southern Altaids: Key to understanding the accretionary tectonics and crustal evolution of Central Asia // *Ore Geol. Rev.* – 2022. – 144. – P. 104871.
 60. Xu J., Zhang H., Lin L., Xiao X., Bian C. Geochronology and origin of the Sarekoubu gold deposit, southern Altaides, China: Ar-Ar dating of vein quartz and Cu-Zn-Fe isotopes // *Ore Geol. Rev.* – 2020. – 124. – P. 103642.
 61. Xu L. G., Mao J. W., Yang F. Q., Daniel H., Zheng J. M. Geology, geochemistry and age constraints on the Mengku skarn iron deposit in Xinjiang Altai, NW China // *J. Asian Earth Sci.* – 2010. – 39. – P. 423–440.
 62. Yakubchuk A. S., Shatov V. V., Kirwin D., Tomurtoogoo O., Badarch G., Buryak A. A. Gold and base metal metallogeny of the Central Asian Orogenic supercolage // *Econ. Geol.* – 2005. – 100th Anniversary Issue. – P. 1035–1068.
 63. Yang C. D., He J. X., Yang F. Q., Wu Y. F., Li Q. Petrogenesis and geodynamic significance of Kayinde gabbro in the Ashele Basin, Altay Orogenic Belt, Xinjiang, Northwest China: Constraints from geochronological and geochemical data // *Geological Journal.* – 2020. – 55. – P. 1849–1865.
 64. Yang C. D., Zhang B., Yang F. Q., Li Q., Wang Y. Q. Zircon U-Pb age, fluid inclusion, and H-C-O-He-Ar-S isotopic compositions as an index to the VMS type mineralization: a case study from the Wulasigou polymetallic deposit, Altay Orogenic Belt, Northwest China // *J. Geochem. Explor.* – 2021. – P. 222.
 65. Yang F. Q., Geng X. X., Wang R., Zhang Z. X., Guo X. J. A synthesis of mineralization styles and geodynamic settings of the Paleozoic and Mesozoic metallic ore deposits in the Altay Mountains, NW China // *Journal of Asian Earth Sciences.* – 2018. – 159. – P. 233–258.
 66. Yang F. Q., Mao J. W., Liu F., Dong Y. G., Chai F. M., Geng X. X. Geological characteristics and metallogenesis of the Keyinbulake copper-zinc deposit in Altay, Xinjiang. *Acta Petrol. Sin.* – 2010. – 26 (02). – P. 361–376.

67. Yang F. Q., Zhang B., Yang C. D., Li Q., Wang Y. Q. Geology and geochronology of the volcanogenic massive sulphide polymetallic deposits in Altay Orogenic Belt, Xinjiang, Northwest China: examples from the Kelan Basin // *Int. Geol. Rev.* – 2020. – 63 (10). – P. 1199–1214.
68. Yang J. J., Yang X. K., Yang C. D., Li Q., Yang F. Q. Genesis of the Talate Pb-Zn (-Fe) deposit in the Altay, Xinjiang, NW China: evidence from fluid inclusions and stable isotopes // *Ore Geol. Rev.* – 2022. – 144.
69. Yang Y., Zhang H., Yang X., Sun C., Ren G., Li Y., Chen B., Jin M., Zhao X., Zhou N. Evolution of the hydrothermal ore-forming system of Ashele VMS-type Cu-Zn deposit in Xinjiang, NW China: Insights from mineralogy and geochemistry of sulfides // *Ore Geology Reviews.* – 2024. – V. 167. – P. 105977.
70. Yu P. P., Zheng Y. Pb-Zn-Cu accumulation from sea-floor sedimentation to metamorphism: constraints from ore textures coupled with elemental and isotopic geochemistry of the Tiemurt in Chinese Altay Orogen, NW China // *Gondwana Res.* – 2019. – 72. – P. 65–82.
71. Yu P., Zheng Y., Wang C. M. Trace elemental and sulfur-lead isotopic variations in metamorphosed volcanogenic massive sulfide (VMS) mineralization systems: An example from the Keketale Pb-Zn(-Ag) deposit, NW China // *Ore Geol. Rev.* – 2020. – 125. – P. 103685.

REFERENCES

1. *Bespayev Kh. A. Atlas mestorozhdeniy poleznykh iskopayemykh Kazakhstana [Atlas of mineral deposits of Kazakhstan]*, Almaty, 2004, 141 p. (In Russ.)
2. *Bespayev Kh. A., Polyanskiy N. V., Ganzhenko T. D. Geologiya i metallogeniya yugo-zapadnogo Altaya (v predelakh territorii Kazakhstana i Kitaya) [Geology and metallogeny of the southwestern Altai (within the territory of Kazakhstan and China)]*, Almaty, Gylym publ., 1997, 288 p. (In Russ.)
3. *Veyts B. I. O geneticheskoy svyazi polimetallicheskogo orudneniya Rudnogo Altaya s devonskim vulkanizmom [On the genetic relationship of polymetallic mineralization of Rudny Altai with Devonian volcanism]*, *Izv. AN SSSR. Ser. geol.*, 1953, No. 7, pp. 105–115. (In Russ.)
4. *Vikentiev I. V., Kuibida M. L., Yakovlev V. A. Rudnoaltayskiy kolchedanno-polimetallicheskiy poyas (Rossiya, Kazakhstan) i faktory yego formirovaniya [The Rudno-Altai pyrite-polymetallic belt (Russia, Kazakhstan) and factors of its formation]*, *Geologiya rudnykh mestorozhdeniy*, 2024, V. 66, No. 6, pp. 567–603. (In Russ.)
5. *Gaskov I. V. Osobennosti razvitiya kolchedannykh rudno-magmatischeskikh sistem v ostrovoduzhnykh obstanovkakh Rudnogo Altaya i Yuzhnogo Urala [Features of the development of pyrite ore-magmatic systems in island-arc environments of Rudny Altai and the Southern Urals]*, *Litosfera*, 2015, No. 2, pp. 17–39. (In Russ.)
6. *Gorzhevskiy D. I., Chekvaidze V. B., Isakovich I. Z. Tipy polimetallicheskikh mestorozhdeniy Rudnogo Altaya, ikh proiskhozhdeniye i metody poiskov [Types of polymetallic deposits of Rudny Altai, their origin and prospecting methods]*, Moscow, Nedra publ., 1977, 197 p. (In Russ.)
7. *Demina L. I., Promyslova M. Yu. Geodinamicheskaya priroda devonskoy rudonosnoy bazalt-riolitovoy formatsii Rudnogo Altaya [Geodynamic nature of the Devonian ore-bearing basalt-rhyolite formation of Rudny Altai]*, *Tektonika i geofizika litosfery, Materialy XXXV tektonicheskogo soveshchaniya*, Moscow, GEOS publ., 2002, V. 1, pp. 163–166. (In Russ.)
8. *Dergachev A. L. Evolyutsiya vulkanogenno kolchedannoobrazovaniya v istorii Zemli [Evolution of volcanogenic pyrite formation in the history of the Earth]*, *Dergachev Aleksandr Lukich*, Moscow, MGU publ., 2010, 262 p. (In Russ.)
9. *Dyachkov B. A., Mizernaya M. A., Pyatkova A. P., Bisatova A. E., Miroshnikova A. P., Kuzmina O. N., Zimanovskaya N. A., Oitseva T. A., Chernenko Z. I. K probleme formirovaniya kolchedanno-polimetallicheskikh mestorozhdeniy Rudnogo Altaya [On the problem of formation of pyrite-polymetallic deposits of Rudny Altai]*, *Otechestvennaya geologiya*, 2021, No. 5, pp. 3–16. (In Russ.)
10. *Dyachkov B. A., Titov D. V., Sapargaliyev Ye. M. Rudnyye poyasa Bolshogo Altaya i otsenka ikh perspektiv [Ore belts of the Greater Altai and assessment of their prospects]*, *Geologiya rudnykh mestorozhdeniy*, 2009, V. 51, No. 3, pp. 222–238. (In Russ.)
11. *Yeremin N. I., Dergachev A. L., Pozdnyakova N. V., Sergeyeva N. Ye. Krupnyye i osobo krupnyye kolchedannyye mestorozhdeniya vulkanicheskoy assotsiatsii [Large and especially large pyrite deposits of volcanic association]*, *Geologiya rudnykh mestorozhdeniy*, 2004, V. 46, No. 2, pp. 107–127. (In Russ.)
12. *Kalinin Yu. A., Kovalev K. R., Serdyukov A. N., Gladkov A. S., Sukhorukov V. P., Naumov Ye. A., Travin A. V., Se-menova D. V., Serebryakov Ye. V., Greku Ye. D. Vozrast-nyye rubezhi i metallogenicheskoye prognozirovaniye zolotorudnykh mestorozhdeniy Akzhal-Boko-Ashalinskoy rudnoy zony (Altayskaya akkretsiionno-kolli-zionnaya sistema) [Age boundaries and metallogenic forecasting of gold ore deposits of the Akzhal-Boko-Ashalinskaya ore zone (Altai accretion-collision system)]*, *Geodinamika i tektonofizika*, 2021, V. 12, No. 2, pp. 392–408. (In Russ.)
13. *Kovalev K. R., Kalinin Yu. A., Polynov V. I., Kydyrbekov E. L., Borisenko A. S., Naumov E. A., Netesov M. I., Klimenko A. G., Kolesnikova M. K. Suzdalskoye zolot-*

- to-sulfidnoye mestorozhdeniye v chernoslantsevyykh tolshchakh Vostochnogo Kazakhstana [Suzdal gold-sulfide deposit in black shale strata of Eastern Kazakhstan], *Geologiya rudnykh mestorozhdeniy*, 2012, V. 54, No. 4, pp. 305–328. (In Russ.)
14. *Kudryavtseva N. G.* Ryady rudnykh formatsiy mestorozhdeniy tsvetnykh i blagorodnykh metallov v razlichnykh geodinamicheskikh obstanovkakh [Series of ore formations of deposits of non-ferrous and precious metals in various geodynamic settings], *Rudy i metally*, 2001, No.6, pp. 44–52. (In Russ.)
 15. *Kudryavtseva N. G., Kuznetsov V. V., Galyamov A. L.* Strukturno-formatsionnoye rayonirovaniye rossiyskoy chasti Rudnogo Altaya kak osnova srednemashtabnykh prognoznykh postroyeniy [Structural-formational zoning of the Russian part of Rudny Altai as a basis for medium-scale forecast constructions], *Rudy i metally*, 2011, No. 3–4, pp. 103–104. (In Russ.)
 16. *Kudryavtseva N. G., Kuznetsov V. V., Seravina T. V.* Geodinamicheskiye obstanovki formirovaniya mestorozhdeniy tsvetnykh i blagorodnykh metallov Bolshogo Altaya [Geodynamic settings for the formation of deposits of non-ferrous and precious metals in the Greater Altai], *Otechestvennaya geologiya*, 2022, No. 2, pp. 12–23. (In Russ.)
 17. *Kudryavtseva N. G., Kuznetsov V. V., Seravina T. V., Ivanenkova Ye. V.* Strukturno-formatsionnoye i metallogenicheskoye rayonirovaniye Bolshogo Altaya [Structural-formational and metallogenetic zoning of the Greater Altai], *Otechestvennaya geologiya*, 2025, No. 2, pp. 50–60. (In Russ.)
 18. *Kuznetsov V. V., Kudryavtseva N. G., Galyamov A. L., Kuznetsova S. V., Seravina T. V.* Geologo-geneticheskiye osnovy prognoza i poiskov kolchedanno-polimetallicheskih mestorozhdeniy rudnoaltayskogo tipa [Geological and genetic foundations of forecasting and prospecting for pyrite-polymetallic deposits of the Ore-Altai type], *Otechestvennaya geologiya*, 2014, No. 2, pp. 30–38. (In Russ.)
 19. *Kuznetsov V. V., Kudryavtseva N. G., Seravina T. V.* Geologicheskkiye formatsii i strukturno-formatsionnoye rayonirovaniye Rossiyskoy chasti Rudnogo Altaya [Geological formations and structural-formational zoning of the Russian part of Rudny Altai], *Novosibirsk*, 2020, pp. 52–54. (In Russ.)
 20. *Kuznetsov V. V., Kudryavtseva N. G., Seravina T. V., Murzin O. V., Korchagina D. A., Kuznetsova S. V., Milyayev S. A.* Osnovy prognoza i poiskov kolchedanno-polimetallicheskih mestorozhdeniy Rudnogo Altaya [Fundamentals of forecasting and prospecting for pyrite-polymetallic deposits in Rudny Altai], Moscow, TSNIGRI publ., 2019, 206 p. (In Russ.)
 21. *Kuznetsova S. V., Seravina T. V.* Usloviya lokalizatsii, osobennosti veshchestvennogo sostava rud i stroyeniye sulfidnogo kholma Zapadno-Zakharovskogo mestorozhdeniya (Rudnoaltayskaya mineragenicheskaya zona) [Localization conditions, features of the material composition of ores and the structure of the sulfide hill of the Zapadno-Zakharovskoye deposit (Rudno-Altai mineragenic zone)], *Geologiya i okhrana neдр*, 2020, No. 1, pp. 19–30. (In Russ.)
 22. *Kuybida M. L.* Bazaltovyy vulkanizm sistemy ostrovnaya duga-zadugovyy basseyn (Altayskaya aktivnaya okraina) [Basaltic volcanism of the island arc-back-arc basin system (Altai active margin)], *Tikhookeanskaya geologiya*, 2019, V. 38, No. 3, pp. 108–120. (In Russ.)
 23. *Metallogenicheskiy kodeks Rossii* [Metallogenetic Code of Russia], Moscow, Geokart-GEOS publ., 2012, 126 p. (In Russ.)
 24. *Pugacheva I. P., Filatov Ye. I., Koldayeva T. G.* Devonская вулcano-плутоническая ассоциация Rudnogo Altaya (na primere Zmeinogorskogo rudnogo rayona) [Devonian volcanic-plutonic association of Rudny Altai (on the example of the Zmeinogorsk ore district)], *Izv. AN SSSR. Ser. geol.*, 1981, No. 11, pp. 45–54. (In Russ.)
 25. *Ruchkin G. V., Konkin V. D., Kuznetsov V. V., Pugacheva I. P.* Parametricheskkiye geologo-poiskovyye modeli kolchedanno-polimetallicheskih mestorozhdeniy [Parametric geological exploration models of pyrite-polymetallic deposits], Moscow, TSNIGRI publ., 1992, 150 p. (In Russ.)
 26. *Seravina T. V.* Geologicheskoye stroyeniye i petrokhimicheskiye osobennosti rudonosnykh vulkanogenno-osadochnykh otlozheniy Berezovogorskogo rudnogo polya (Rudnyy Altay) [Geological structure and petrochemical features of ore-bearing volcanogenic-sedimentary deposits of the Berezovogorsk ore field (Rudny Altai)], *Otechestvennaya geologiya*, 2015, No. 4, pp. 3–8. (In Russ.)
 27. *Seravina T. V., Kuznetsov V. V., Kuznetsova S. V., Filatova L. K., Ivanenkova Ye. V.* Kolchedanno-polimetallicheskoye orudneniye Rudnogo Altaya tipa VMS na primere Zaitsevskogo rudnogo polya (Zmeinogorskiy rudnyy rayon) [Pyrite-polymetallic mineralization of Rudny Altai of the VMS type on the example of the Zaitsevsky ore field (Zmeinogorsk ore region)], *Otechestvennaya geologiya*, 2025, No. 2, pp. 3–21. (In Russ.)
 28. *Seravina T. V., Kuznetsova S. V., Filatova L. K.* Osobennosti veshchestvennogo sostava vmeshchayushchikh porod i rud Lazurskogo rudnogo polya (Zmeinogorskiy rudnyy rayon, Rudnoaltayskaya mineragenicheskaya zona) [Features of the material composition of host rocks and ores of the Lazursky ore field (Zmeinogorsk ore region, Rudnoaltai mineragenic zone)], *Otechestvennaya geologiya*, 2021, No. 3–4, pp. 36–47. (In Russ.)
 29. *Seravina T. V., Kuznetsova S. V., Filatova L. K., Donets A. I., Konkin V. D.* Osobennosti lokalizatsii kolchedanno-polimetallicheskih rud Tushkanikhinskogo

- mestorozhdeniya (Rudnyy Altay) [Features of the localization of pyrite-polymetallic ores of the Tushkanikhinsky deposit (Rudny Altai)], *Rudy i metally*, 2022, No. 4, pp. 102–118. (In Russ.)
30. *Sklyarov Ye. V.* Interpretatsiya geokhimicheskikh danykh [Interpretation of geochemical data], Moscow, Intermet Inzhiniring publ., 2001, 288 p. (In Russ.)
 31. *Filatova L. K., Filatov Ye. I.* Vnutrenneye stroyeniye rudovmeshchayushchikh kremnekislykh vulkanogennykh obrazovaniy (na primere devonskikh vulkanitov Rudnogo Altaya) [Internal structure of ore-bearing siliceous volcanic formations (using the Devonian volcanics of Rudny Altai as an example)], Moscow, 2023, pp. 490–491. (In Russ.)
 32. *Chernyshev I. V., Vikentyev I. V., Chugayev A. V.* Istochniki metallov kolchedannykh mestorozhdeniy Rudnogo Altaya po dannym vysokotochnogo MC-ICP-MS izucheniya izotopnogo sostava svintsya [Sources of metals of pyrite deposits of Rudny Altai according to high-precision MC-ICP-MS study of the isotopic composition of lead], *Geokhimiya*, 2023, V. 68, No. 6, pp. 545–569. (In Russ.)
 33. *Shcherba G. N., Bespaev Kh. A., Dyachkov B. A.* [et al.] Bolshoy Altay (geologiya i metallogeniya). Kn. 2. Metallogeniya [Great Altai (geology and metallogeny). Book 2. Metallogeny], Almaty, RIO VAK RK publ., 2000, 400 p. (In Russ.)
 34. *Broussolle A., Sun M., Schulmann K., Guy A., Aguilar C., Štípská P., Jiang Y. D., Yu Y., Xiao W. J.* Are the Chinese Altai “terrane” the result of juxtaposition of different crustal levels during Late Devonian and Permian orogenesis?, *Gondwana Res*, 2019, 66, pp. 183–206.
 35. *Chekalin V. M., Dyachkov B. A.* Rudny Altai base-metal belt: localization of massive sulfide mineralization, *Geology of Ore Deposits*, 2013, V. 55, No. 6, pp. 438–454.
 36. *Dorjgotov D., Batdorj N., Tamir B.* Distribution principles and characteristics of polymetal deposits of Mongolia, *Mongolian Geoscientist journal*, 2011, 37, pp. 167–179.
 37. *Dyachkov B. A., Bissatova A. Y., Mizernaya M. A., Khromykh S. V., Oitseva T. A., Kuzmina O. N., Zimanovskaya N. A., Aitbayeva S. S.* Mineralogical Tracers of Gold and Rare-Metal Mineralization in Eastern Kazakhstan, *Minerals*, 2021, 11, pp. 253.
 38. *Dyachkov B. A.; Mizernaya M. A., Khromykh S. V., Bissatova A. Y., Oitseva T. A., Miroshnikova A. P., Frolova O. V., Kuzmina O. N., Zimanovskaya N. A., Pyatkova A. P., Zikirova K., Ageyeva O. V., Yeskaliyev Y. T.* Geological History of the Great Altai: Implications for Mineral Exploration, *Minerals*, 2022, 12(6), pp. 744.
 39. *Erdenebayar J., Ogata T., Byambajav A., Ukhnaa G., Baldorj B., Komine Y., Yamamoto M., Mizuta T.* Geological and Geochemical study on Volcanogenic Massive Sulfide Deposits in Western Mongolia, Conference paper: GSA Annual Meeting in Denver, Colorado, USA, 2016.
 40. *Franklin J. M., Gibson H. L., Jonasson I. R., Galley A. G.* Volcanogenic massive sulfide deposits, *Economic Geology 100th anniversary volume, 1905–2005*, 2005, pp. 523–560.
 41. *Galley A. G., Hannington M., Jonasson I. R.* Volcanogenic massive sulphide deposits, in Goodfellow, W.D., ed., *Mineral deposits of Canada – A synthesis of major deposit-types, district metallogeny, the evolution of geological provinces, and exploration methods*, Geological Association of Canada, Mineral Deposits Division, 2007, Special Publication 5, pp. 141–161.
 42. *Gao L. L., Chen C., Wang K. Y., Zhang X. B.* Tectonic setting and geochronology of the Sarsuk Au polymetallic deposit in Xinjiang, NW China: Constraints from pyrite Re–Os, zircon U–Pb dating and Hf isotopes, *Ore Geol. Rev*, 2020, 124, pp. 103641.
 43. *Geng X. X., Yang F. Q., Chai F. M., Liu, M., Guo X. J., Guo Z. L., Liu F., Zhang Z. X.* LA-ICP-MS U–Pb dating of volcanic rocks from Dadonggou ore district on southern margin of Altay in Xinjiang and its geological implications, *Mineral Deposits*, 2012, 031 (5), pp. 1119–1131.
 44. *Geng X. X., Yang F. Q., Yang J. M., Huang C. K., Liu F., Chai F. M., Zhang Z. X.* Characteristics of fluid inclusions in the Tiemurte Pb–Zn deposit, Altay, Xinjiang and its geological significance, *Acta Petrol. Sin*, 2010, 26 (03), pp. 695–706.
 45. *Gerel O., Pirajno F., Batkhishig B., Dostal J.* Mineral Resources of Mongolia, Singapore : Springer Nature Pte Ltd., 2021, 461 p.
 46. *Ivanov A. I., Naumov E. A., Kulikov D. A., Girfanov M. M., Seravina T. V., Fomina M. I.* Contribution of FSBI «TSNIGRI» to the international cooperation of ROSNEDRA with the BRICS countries in the field of the geology and mineral resource study, *Razvedka i okhrana nedr*, 2024, SPECIAL ISSUE, pp. 53–66.
 47. *Kuibida M. L., Murzin O. V., Kruk N. N., Safonova I. Y., Sun M., Komiya T., Wong D., Aoki S., Murzina N. M., Nikolaeva I., Semenova D. V., Khlestov M., Shelepaev R. A., Kotler P. D., Yakovlev V. A., Naryzhnova A. V.* Whole-rock geochemistry and U–Pb ages of Devonian bimodal-type rhyolites from the Rudny Altai, Russia: Petrogenesis and tectonic settings, *Gondwana Res*, 2020, V. 81, pp. 312–338.
 48. *Large R. R.* Australian volcanic-hosted massive sulfide deposits — features, styles, and genetic models, *Economic Geology*, 1992, V. 87, pp. 471–510.
 49. *Li Q., Chai F. M., Yang F. Q., Yang J. J.* Petrogenesis of the Kuwei Ni–Cu sulfide and Fe–Ti oxide-bearing mafic-ultramafic intrusions in Altay, Xinjiang, NW China, *Acta Petrol. Sin*, 2015, 31 (8), pp. 2211–2229.
 50. *Liu F., Zhang Z. X., Li Q., Zhang C., Li C.* New precise timing constraint for the Keketuohai No. 3 peg-

- matite in Xinjiang, China, and identification of its parental pluton, *Ore Geol. Rev.*, 2014, 6, pp. 209–219.
51. *Niu L., Hong T., Xu X. W., Li H., Ke Q., Wang X. H., Ma Y. C.* A revised stratigraphic and tectonic framework for the Ashele volcanogenic massive sulfide deposit in the southern Chinese Altay: Evidence from stratigraphic relationships and zircon geochronology, *Ore Geol. Rev.*, 2020, 127, pp. 103814.
 52. *Piercey S. J.* A semipermeable interface model for the genesis of subseafloor replacement type volcanogenic massive sulfide (VMS) deposits, *Economic Geology*, 2015, V. 110, pp. 1655–1660.
 53. *Pirajno F., Seltmann R., Yang Y.* A review of mineral systems and associated tectonic settings of northern Xinjiang, NW China, *Geosci. Front.*, 2011, 2 (2), pp. 157–185.
 54. *Seltmann R., Porter T. M., Pirajno F.* Geodynamics and metallogeny of the central Eurasian porphyry and related epithermal mineral systems: A review, *J. Asian Earth Sci.*, 2014, 79, pp. 810–841.
 55. *Sun C., Yang X. Y., Zhang H. S., Ji W. H., Chen B., Dong Z. C., Faisal M., Xi D. H.* Tracing the formation and modification of the Keketale VMS-type Pb-Zn deposit, Altai Mountains: insights from ore deposit geology, geochronology, and magnetite geochemistry, *Ore Geol. Rev.*, 2022, 144.
 56. *Sun C., Zhang H., Yang X., Ji W., Chen B., Li Y., Dong Z., Faisal M., He Z.* The role of long-lived arc volcanism in the formation of the VMS deposits: A case study of the volcanic-sedimentary sequence of Kangbutiebao formation associated with VMS deposits, *Altai Mountains, Gondwana Research*, 2023, V. 118, pp. 194–217.
 57. *Tamir B., Dorjgotov D., Lkhagvatseren B.* Geology and ore composition studies of Dulaan khar uul polymetal deposit, *Journal of Geological Issues*, 2018, (494) (16), pp. 76–83.
 58. *Wan B., Zhang L. C., Xiao W. J.* Geological and geochemical characteristics and ore genesis of the Keketale VMS Pb-Zn deposit, Southern Altai Metallogenic Belt, NW China, *Ore Geol. Rev.*, 2010, 37 (2), pp. 114–126.
 59. *Xiao W., Pirajno F., Seltmann R., Safonova I., Chen Y., Muhtar M. N.* Metallogeny of the Southern Altaids: Key to understanding the accretionary tectonics and crustal evolution of Central Asia, *Ore Geol. Rev.*, 2022, 144, pp. 104871.
 60. *Xu J., Zhang H., Lin L., Xiao X., Bian C.* Geochronology and origin of the Sarekoubu gold deposit, southern Altaids, China: Ar-Ar dating of vein quartz and Cu-Zn-Fe isotopes, *Ore Geol. Rev.*, 2020, 124, pp. 103642.
 61. *Xu L. G., Mao J. W., Yang F. Q., Daniel H., Zheng J. M.* Geology, geochemistry and age constraints on the Mengku skarn iron deposit in Xinjiang Altai, NW China, *J. Asian Earth Sci.*, 2010, 39, pp. 423–440.
 62. *Yakubchuk A. S., Shatov V. V., Kirwin D., Tomurtoogoo O., Badarch G., Buryak A. A.* Gold and base metal metallogeny of the Central Asian Orogenic supercollage, *Econ. Geol.*, 2005, 100th Anniversary Issue, pp. 1035–1068.
 63. *Yang C. D., He J. X., Yang F. Q., Wu Y. F., Li Q.* Petrogenesis and geodynamic significance of Kayinde gabbro in the Ashele Basin, Altay Orogenic Belt, Xinjiang, Northwest China: Constraints from geochronological and geochemical data, *Geological Journal*, 2020, 55, pp. 1849–1865.
 64. *Yang C. D., Zhang B., Yang F. Q., Li Q., Wang Y. Q.* Zircon U-Pb age, fluid inclusion, and H-C-O-He-Ar-S isotopic compositions as an index to the VMS type mineralization: a case study from the Wulasigou polymetallic deposit, Altay Orogenic Belt, Northwest China, *J. Geochem. Explor.*, 2021, p. 222.
 65. *Yang F. Q., Geng X. X., Wang R., Zhang Z. X., Guo X. J.* A synthesis of mineralization styles and geodynamic settings of the Paleozoic and Mesozoic metallic ore deposits in the Altay Mountains, NW China, *Journal of Asian Earth Sciences*, 2018, 159, pp. 233–258.
 66. *Yang F. Q., Mao J. W., Liu F., Dong Y. G., Chai F. M., Geng X. X.* Geological characteristics and metallogenesis of the Keyinbulake copper-zinc deposit in Altay, Xinjiang. *Acta Petrol. Sin.*, 2010, 26 (02), pp. 361–376.
 67. *Yang F. Q., Zhang B., Yang C. D., Li Q., Wang Y. Q.* Geology and geochronology of the volcanogenic massive sulphide polymetallic deposits in Altay Orogenic Belt, Xinjiang, Northwest China: examples from the Kelan Basin, *Int. Geol. Rev.*, 2020, 63 (10), pp. 1199–1214.
 68. *Yang J. J., Yang X. K., Yang C. D., Li Q., Yang F. Q.* Genesis of the Talate Pb-Zn (-Fe) deposit in the Altay, Xinjiang, NW China: evidence from fluid inclusions and stable isotopes, *Ore Geol. Rev.*, 2022, 144.
 69. *Yang Y., Zhang H., Yang X., Sun C., Ren G., Li Y., Chen B., Jin M., Zhao X., Zhou N.* Evolution of the hydrothermal ore-forming system of Ashele VMS-type Cu-Zn deposit in Xinjiang, NW China: Insights from mineralogy and geochemistry of sulfides, *Ore Geology Reviews*, 2024, V. 167, pp. 105977.
 70. *Yu P. P., Zheng Y.* Pb-Zn-Cu accumulation from seafloor sedimentation to metamorphism: constraints from ore textures coupled with elemental and isotopic geochemistry of the Tiemurt in Chinese Altay Orogen, NW China, *Gondwana Res.*, 2019, 72, pp. 65–82.
 71. *Yu P., Zheng Y., Wang C. M.* Trace elemental and sulfur-lead isotopic variations in metamorphosed volcanogenic massive sulfide (VMS) mineralization systems: An example from the Keketale Pb-Zn(-Ag) deposit, NW China, *Ore Geol. Rev.*, 2020, 125, pp. 103685.

Статья поступила в редакцию 25.09.25; одобрена после рецензирования 20.10.25; принята к публикации 03.12.25.
The article was submitted 25.09.25; approved after reviewing 20.10.25; accepted for publication 03.12.25.

Шлихоминералогический анализ при поисках золоторудных месторождений: опыт, развитие и актуальность

Аннотация. В статье рассматриваются возможности и преимущества метода диагностики минералов в шлиховых пробах – от классических подходов к современной адаптации. Особое внимание уделено его возрождению и успешному применению в практике геологоразведочных работ (ГРП) в различных геолого-структурных и ландшафтно-геохимических условиях. Показана эффективность метода, приведены примеры его практического использования и роль в оптимизации затрат на поисковые и оценочные работы. Статья основана на многолетнем опыте ЦНИГРИ, архивных и современных материалах.

Ключевые слова: экспресс-диагностика, шлиховые пробы, минералы-индикаторы, минералого-геохимический анализ, шлихоминералогический анализ, геологоразведочные работы, кора выветривания, микрохимические реакции.

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

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

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

Mineralogical analysis of heavy-mineral concentrates in prospecting for gold deposits: Experience, development, and relevance

N. N. POZDNYAKOVA, T. P. ZUBOVA

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

Abstract. This article examines the capabilities and advantages of the method of diagnosis of minerals in heavy-mineral concentrate (HMC) samples, from the classical approaches to the modern adaptation. Particular attention is paid to its revival and successful application in practice of geological exploration under various geological-structural and landscape-geochemical conditions. The effectiveness of the method is demonstrated, examples of its practical use are provided, and its role in optimizing exploration and appraisal costs is highlighted. The article is based on long-lived experience of TSNIGRI, as well as on archival and actual data.

Key words: express diagnostics, heavy-mineral concentrate samples, indicator minerals, mineralogical and geochemical analysis, heavy-mineral concentrate analysis, geological exploration, weathering crust, microchemical reactions.

В условиях возрастающих требований к экономической эффективности и оперативности геологоразведочных работ особую значимость приобретают быстрые и малозатратные методы поисков, позволяющие получать первичную информацию непосредственно в полевых условиях.

Одним из таких методов является минералогический анализ шлиховых проб, обеспечивающий оперативную оценку минерального состава пород и рыхлых отложений без необходимости немед-

ленного обращения к стационарным лабораторным исследованиям. Метод сохраняет устойчивую востребованность благодаря мобильности, низкой себестоимости и высокой информативности, особенно в сложных геологических обстановках – от зон интенсивной глинизации в корах выветривания до перемыва и переотложения материала коренных пород в россыпях.

Методика диагностики минералов представляет собой комплексный подход, основанный на

визуальном анализе физических свойств минералов под биноклем (форма, цвет, блеск, степень окатанности, трещиноватость и др.) в сочетании с качественными микрохимическими реакциями. Эти операции проводятся ограниченным набором реактивов и не требуют сложного оборудования, что позволяет организовать экспресс-лабораторию вблизи объекта работ [2].

Главная ценность минералогического анализа заключается не только в определении отдельных минералов, но и в выявлении их ассоциаций, отражающих рудную специализацию. Изучение минералов-индикаторов, минералов-спутников, акцессорных минералов (кварц, серицит, хлорит, эпидот, гранат, магнетит, сульфиды, самородное золото и др.) позволяет уже на ранних стадиях прогнозировать тип рудной минерализации, характер гидротермально-метасоматических изменений, природу вторичных геохимических аномалий и совместно с другими данными локализовать перспективные участки для постановки детальных, в том числе горно-буровых, работ и в целом оптимизировать комплекс аналитических исследований повысить эффективность поисков [2, 7, 9].

Выявление самородного золота в шлиховых пробах, его размер предопределяют необходимость, помимо традиционных (химико-золото-спектральных, атомно-абсорбционных и пробирных) анализов, использовать методы, учитывающие возможное непопадание золотин в аналитическую навеску [12].

Диагностика минералов в шлихах имеет глубокие методические и практические корни, уходящие к работам XIX–XX вв., проводимые такими исследователями, как В. А. Обручев, А. В. Костерин, А. Г. Бетехтин, М. И. Ицинсон, И. М. Озеров, А. А. Кухаренко, Е. В. Копченова и др.

В 1970 г. В. Ф. Гуреев (ЦНИГРИ) усовершенствовал традиционный минералогический анализ шлихов, применив его в площадном варианте в сочетании с геохимическим анализом самих шлиховых проб. Результаты позволили получить комплексную информацию по распределению основных рудных минералов и элементов в пределах площади работ и локализовать наиболее перспективные участки [2]. На этот подход был получен патент. Методика включала отбор шлиховых проб из копушей по профилям, ориентированным вкрест простирания минерализованных зон, с последующим комплексным изучением их ми-

нерального состава и анализом электромагнитной фракции на содержания Au и сопутствующие элементы методами атомно-абсорбционного, золото-спектрального и спектрального полуколичественного анализов. По полученным аналитическим данным отстраивались мономинеральные и моноэлементные карты, что существенно повышало точность интерпретации выявленных литохимических аномалий.

Методика была успешно апробирована на объектах Колымы, Урала и Средней Азии и оформлена в виде рекомендаций ЦНИГРИ 1986 г. «Поиски золоторудных месторождений шлиховым минералого-геохимическим методом» [7].

В 1990–2000-е гг. интерес к шлиховому методу при поисках рудных объектов снизился из-за его трудоёмкости и общего кризиса в отрасли. Однако с 2010-х гг. наблюдается его возрождение, обусловленное высокой рентабельностью, возможностью применения в труднодоступных районах и результативностью при проведении поисковых работ в сложных геологических условиях, где традиционные методы часто дают размытые или неинформативные результаты.

Ниже приведено несколько примеров эффективного использования минералогического анализа как количественного, так и сокращённого (полуколичественного):

1. На *Травянском участке Ивдельской площади* (Северный Урал, 2008–2011 гг.) проводилась площадная шлиховая съёмка по профилям с отбором проб из копушей, ориентированных вкрест простирания предполагаемых минерализованных зон. Работы выполнялись на продолжении ранее выявленных участков – Шайтанский и Преображенский, связанных с золото-сульфидно-кварцевой и золото-кварцевой минерализациями.

По результатам сокращённого минералогического анализа были построены ореолы распространения самородного золота, окисленного пирита, гидроксидов железа и обломков кварц-полевошпатовых метасоматитов (рис. 1). Полученные данные хорошо коррелировали с результатами литохимического опробования и позволили выделить новые перспективные зоны северо-восточного простирания, благоприятные для выявления прожилково-вкрапленной золото-сульфидно-кварцевой минерализации [5, 6].

2. На *Укырской площади* (Республика Бурятия, 2021–2023 гг.) минералогический анализ шлихов при опробовании из копушей по отдель-

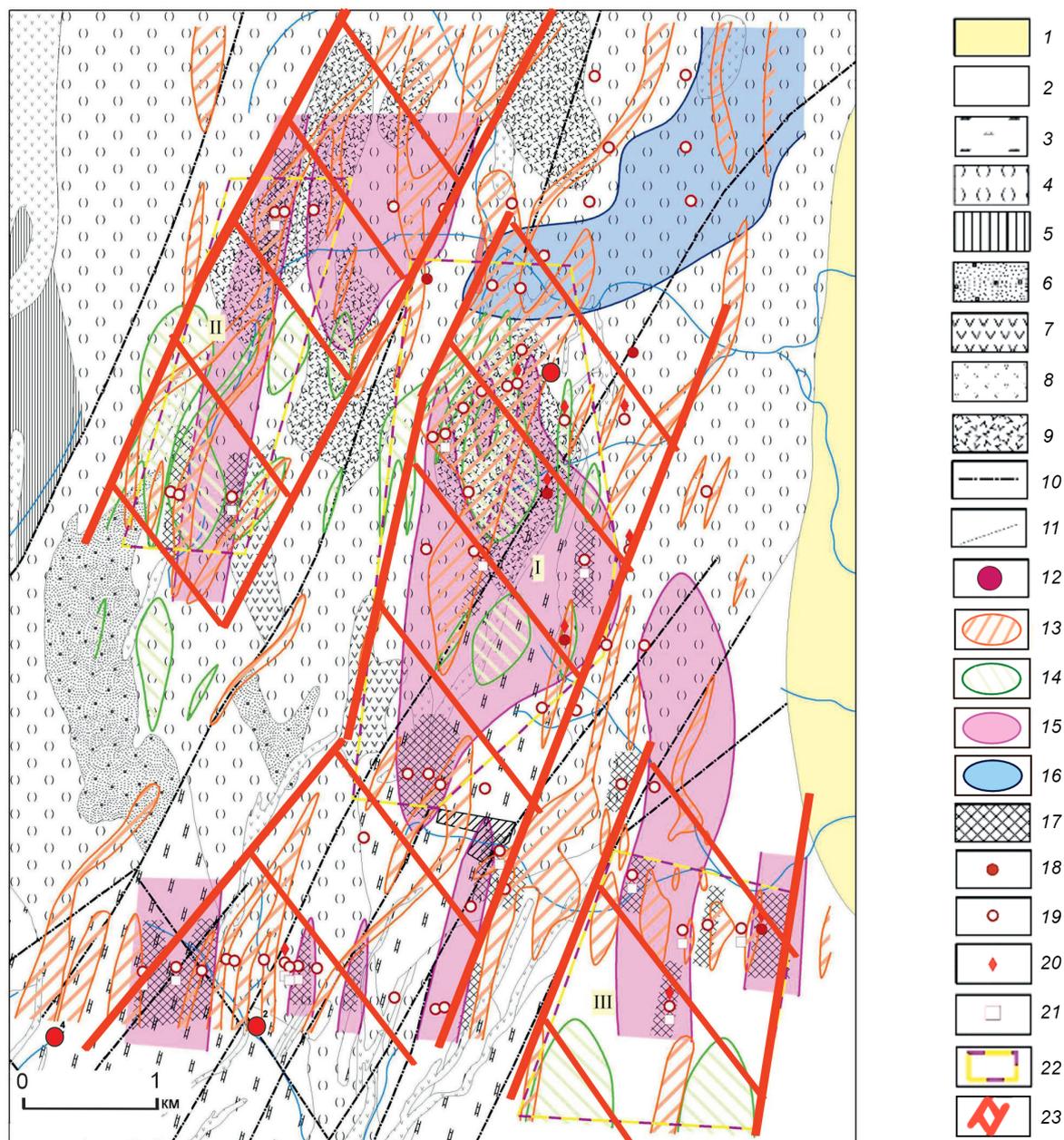


Рис. 1. Перспективный участок Ивдельской площади, выявленный по результатам площадных шлихогеохимических работ, на продолжении детально изученных участков Шайтанский и Преображенский:

рыхлые образования мезо-кайнозойского возраста: 1 – прибрежно-морские, озёрные отложения; 2–8 – породы палеозойского возраста: 2 – известняки, 3 – известняки с прослоями известковистых туфов, 4 – туфы разного состава, 5 – яшмы, кремнисто-глинистые сланцы, 6 – конгломераты, гравелиты, песчаники и алевролиты, переслаивающиеся с известняками, глинистыми сланцами, 7 – андезитовые порфириды, 8 – комплекс субвулканических пород основного состава (дайки, силлы, покровы, штоки); 9 – метасоматиты хлорит-карбонат-кварцевые, пирит-хлорит-карбонат-серицитовые, часто с прожилками кварца; 10 – тектонические нарушения; 11 – границы геологические; 12 – месторождения и рудопроявления золото-кварцевые и золото-сульфидно-кварцевые (жильные): 1 – Травянское, 2 – Петровское, 4 – Троицкое; 13–14 – вторичные геохимические аномалии: 13 – золота, 14 – мышьяка; 15–16 – ореолы распространения по результатам шлихоминералогического анализа: 15 – обломков кварц-полевошпатовых метасоматитов, 16 – минералов магнетит-амфибол-пироксен-эпидотовых скарнов; 17–21 – присутствие в минералогических пробах: 17 – гидроксидов железа > 25 %, 18 – знаков самородного золота > 10 знаков, 19 – единичных знаков золота, 20 – киновари, 21 – пирита окисленного и неокисленного; 22 – площади и их номера, заслуживающие дальнейшей постановки ГРП: I – Травянская, II – Олений; III – Талая; 23 – предполагаемые зоны с золото-сульфидно-кварцевой минерализацией

ным профилям показал, что на участке Сохай золотое оруденение связано не только с магнетитовыми скарнами, как предполагалось ранее, но и развивается за их пределами – в кварцевых прожилках часто с турмалином, расположенных в экзо-эндоконтактовых зонах интрузивного массива (рисунки 2, 3). Пройденные впоследствии горно-буровые выработки вскрыли интервалы с содержаниями золота 0,5–1,5 г/т [1].

Метод оказался особенно эффективен при изучении золотоносности коры выветривания, широко развитой на Укырской площади и представленной кремово-розовым глинистым материалом с прожилками ожелезнения. В условиях интенсивной глинизации визуальное выделение руд-

ных зон затруднено из-за сильного изменения облика пород за счёт выветривания.

Минералогический анализ шлиховых проб, отобранных из керна поисковых скважин (масса проб от 0,5 до 2,0 кг), позволил воссоздать состав коренных пород, подвергшихся выветриванию, и определить типы рудной минерализации (рис. 4): золото-кварцевый и золото-железородный на участке Сохай, пирит-арсенопиритовый на участке Белюты [11].

3. На *Ольгинской площади* (Кузнецкий Ала-тау, 2015–2017 гг.) была апробирована модифицированная методика В. Ф. Гуреева – минералогический анализ «серого» шлиха. Масса навески после промывки пробы составляла 15–20 г.

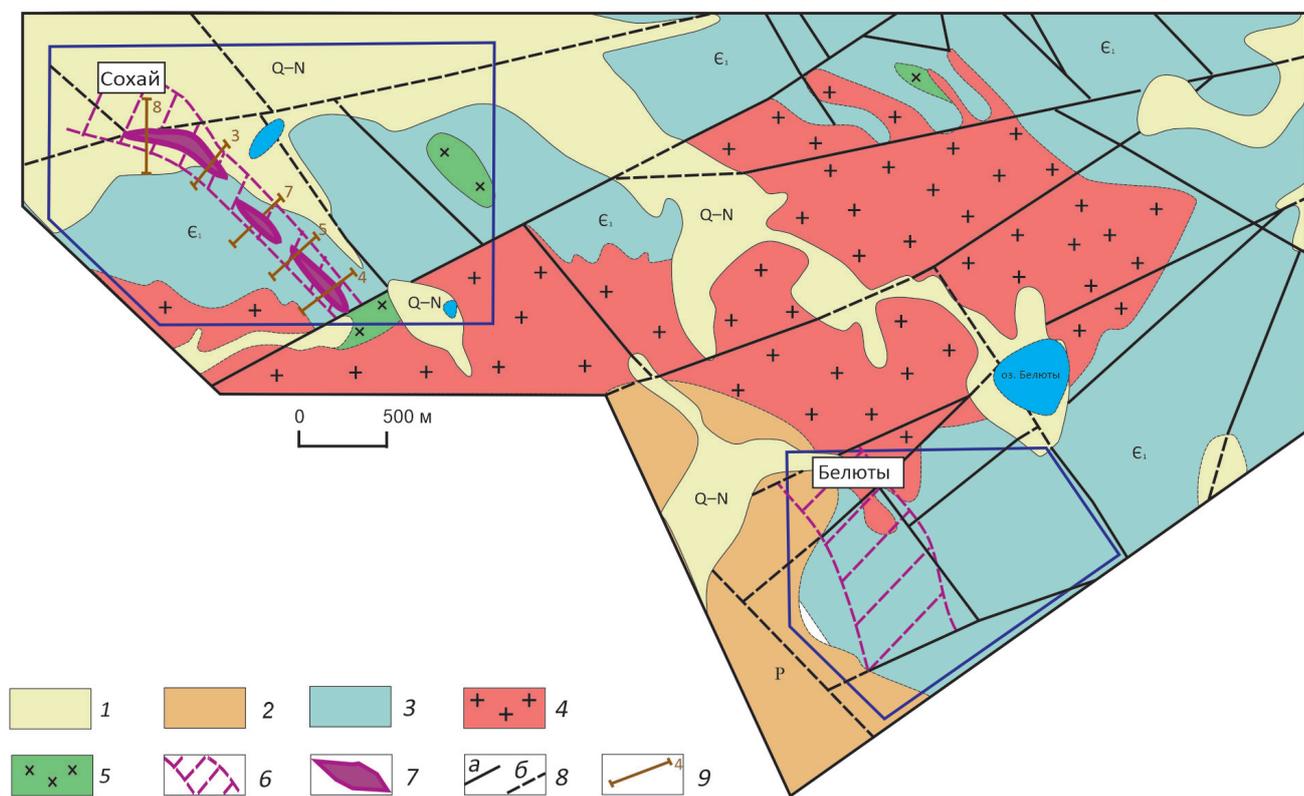


Рис. 2. Схематическая геологическая карта Укырской площади с участками. По А. Н. Миронову и др., 2008, с упрощениями:

1–2 – отложения: 1 – неоген-четвертичного возраста: пески, галечники, глины, 2 – палеоцен-эоценового возраста: глины пёстроцветные с галькой и дресвой; 3 – вулканогенно-осадочные породы олдындинской свиты нижнего кембрия (известняки, туфы, сланцы); 4–5 – интрузивные породы Витимканского комплекса палеозойского возраста: 4 – порфиroidные биотитовые граниты, 5 – биотитовые и роговообманковые диориты; 6 – минерализованные зоны с золотоносными корами выветривания; 7 – золотосодержащие железородные тела; 8 – разрывные нарушения: а – установленные, б – предполагаемые; 9 – шлихгеохимические профили и их номера

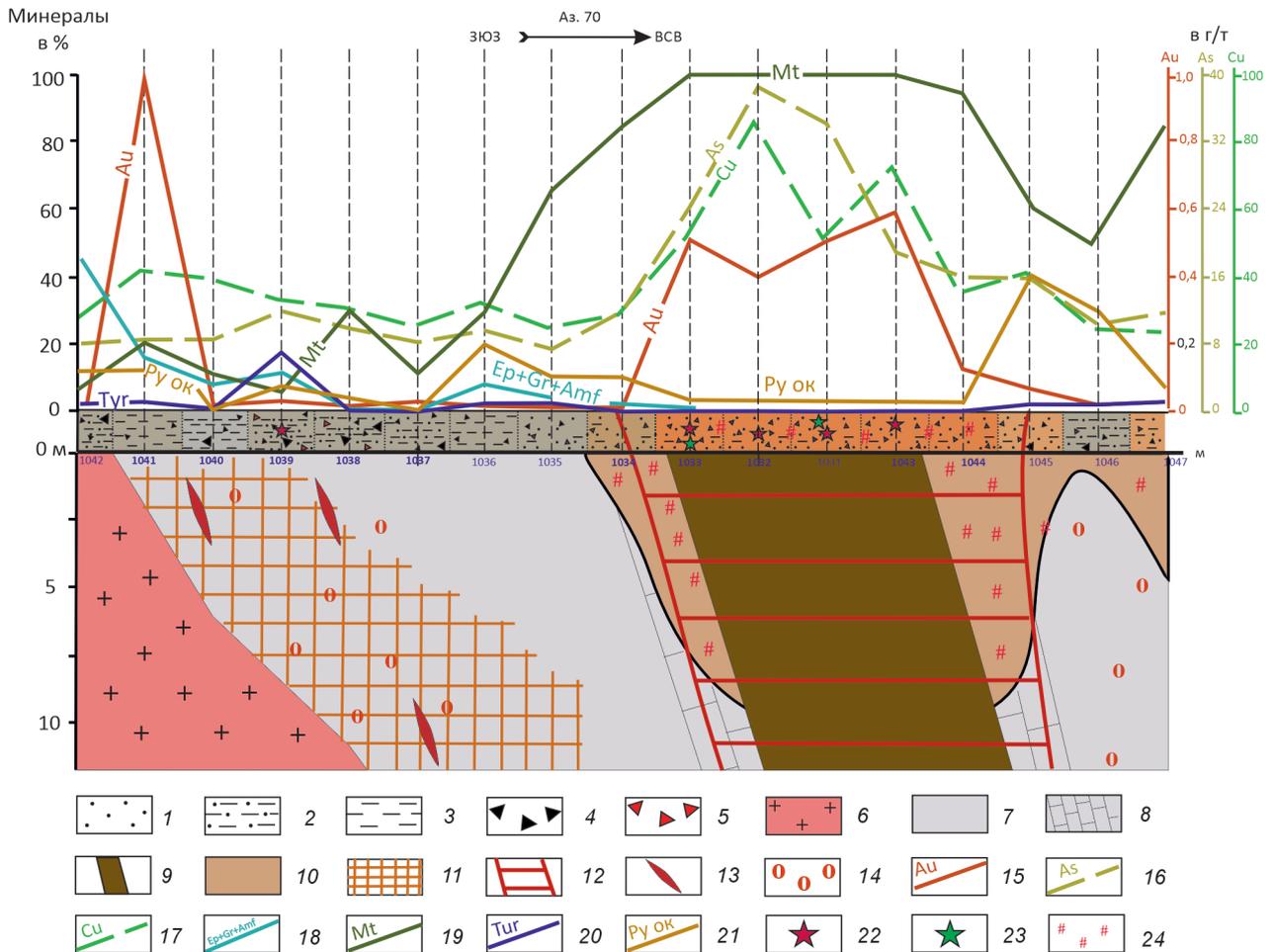


Рис. 3. Обобщённый геологический разрез по участку Сохай (Укырская площадь), составленный по результатам опробования делювиально-пролювиальных отложений и документации керна скважин с результатами минералогического, атомно-абсорбционного и масспектрометрического анализов проб из копушей:

1 – песок; 2 – суглинок; 3 – глина; 4 – щебень; 5 – обломки кварца; 6 – граниты; 7 – вулканогенно-осадочные породы; 8 – прослои известняков; 9 – золотосодержащее железорудное тело; 10 – кора выветривания; 11 – зона скарирования; 12 – золотосодержащая минерализованная зона; 13 – кварцевые жилы; 14 – окварцевание; 15–18 – на графике содержания элементов, в г/т: 15 – Au (атомно-абсорбционный анализ), 16–17 – по ICP AES: 16 – As, 17 – Cu, 18–21 – содержание минералов в шлиховых пробах, в %: 18 – минералов скарновой группы (эпидот (Ep), гранат (Gr), амфиболы (Amf)), 19 – магнетит, 20 – турмалин (Tur), 21 – пирит окисленный (Py ок); 22 – знаки самородного золота; 23 – знаки самородной меди; 24 – участки интенсивного ожелезнения

Исследование пробы включало не только тяжёлый концентрат, масса которого была менее 1 г, но и лёгкой фракции, что значительно расширило информативность полученных данных [12].

В полевых условиях по всем пробам проводился сокращённый минералогический анализ шлиха с извлечением самородного золота. Далее «серый» шлик анализировался на содержания Au и сопутствующие элементы (As, Cu, Pb, Zn и др.)

атомно-абсорбционным и полуколичественным спектральным анализами. Несмотря на частичное извлечение видимого золота, отстроенные геохимические аномалии по полученным результатам оказались значительно контрастнее данных литохимической съёмки по ВОР (вторичным ореолам рассеивания) и имели более локальный характер распространения. Аномалии Au и элементов-спутников пространственно совпали с орео-

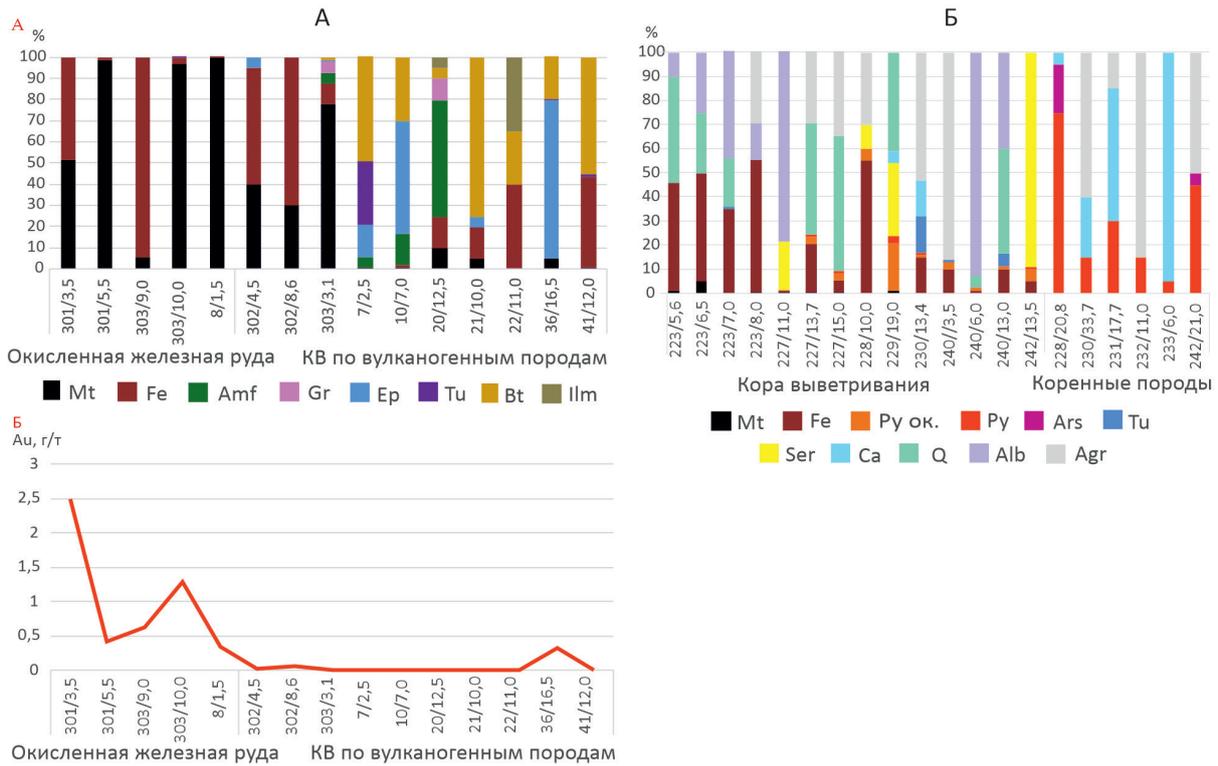


Рис. 4. Результаты полуколичественного сокращённого минералогического анализа шлиховых проб из коры выветривания участков Сохай (А) и Белуты (Б) (Укырская площадь):

Mt – магнетит, Fe – гидроксиды железа, Amf – амфиболы, Gr – гранаты, Ep – эпидот, Tu – турмалин, Bt – биотит, Ilm – ильменит, Py – пирит, Py ок. – пирит окисленный, Ars – арсенопирит, Ser – обломки серицитовых сланцев, Ca – карбонаты, Q – кварц, Alb – альбит, Agr – агрегаты

лами самородного золота, окисленного пирита, азурита, кварц-серицитовых агрегатов. Комплексные минералого-геохимические ореолы тяготели к тектоническим контактам вулканогенных и карбонатных пород (рис. 5). Заверка буровыми работами подтвердила золотоносность коры выветривания, развитой по золото-пирит-арсенопиритовой минерализации с содержаниями Au 1–4 г/т.

Этот пример подтверждает, что минералогический анализ дополняет геохимический, обеспечивая более точную интерпретацию аномалий и надёжные прогнозные построения.

4. Примером изучения трансформации минерального состава рудной минерализации в профиле коры выветривания является Июньское рудопроявление (Кемеровская область, Северо-Восточный Салаир, 2004–2006 гг.). В пределах него развиты контактово-карстовые коры выветривания, представленные пёстроцветным глинистым,

щербнисто-глинистым материалом с прослоями интенсивного ожелезнения и остаточными текстурно-структурными признаками материнской породы.

По минералам-индикаторам – самородному золоту, бариту, окисленному пириту и другим окисленным сульфидам, представленным гидроксидами Fe и Mn, – удалось выделить золотосодержащую барит-полиметаллическую зону, приуроченную к контакту вулканогенно-осадочных и карбонатных пород, а также проследить изменение морфологии и пробыности золота при его переотложении [4].

В глинизированной зоне контакта силикатных и карбонатных пород сохранились остаточные минералы, отражающие рудную специализацию коренного субстрата: барит (80–90 %), окисленный пирит (7–86 %), зёрна малахита, обломки известняка и серицитовых сланцев. По мере

удаления от зоны контакта спектр минералов изменяется: начинают преобладать гидроксиды Fe и Mn, а содержание остальных минералов снижается вплоть до исчезновения (рис. 6).

Верхние части рудных тел подверглись интенсивному перемыву, в результате чего сформировалась залежь, которую по генезису можно отнести к делювиально-пролювиальной россыпи. Это подтверждается появлением более широкого спектра минералов разной степени окатанности по сравнению с составом проб из золотоносной контакто-карстовой коры выветривания. В шлихах появились магнетит, рутил, циркон, ко-

рунд, брукит, касситерит, мартитизированный ильменит, хромит, амфибол; пирит частично окислился; барит приобрёл рыхлую агрегатную форму, а основную массу фракции составили гидроксиды железа.

Этот пример показывает, что шлиховой минералогический анализ позволяет реконструировать процессы преобразования рудной минерализации в зоне гипергенеза, уточнить её тип и определить поисковые минералогические признаки.

Несмотря на эффективность метода, его широкое внедрение, особенно в полевых условиях, затруднено рядом факторов. Один из них – от-

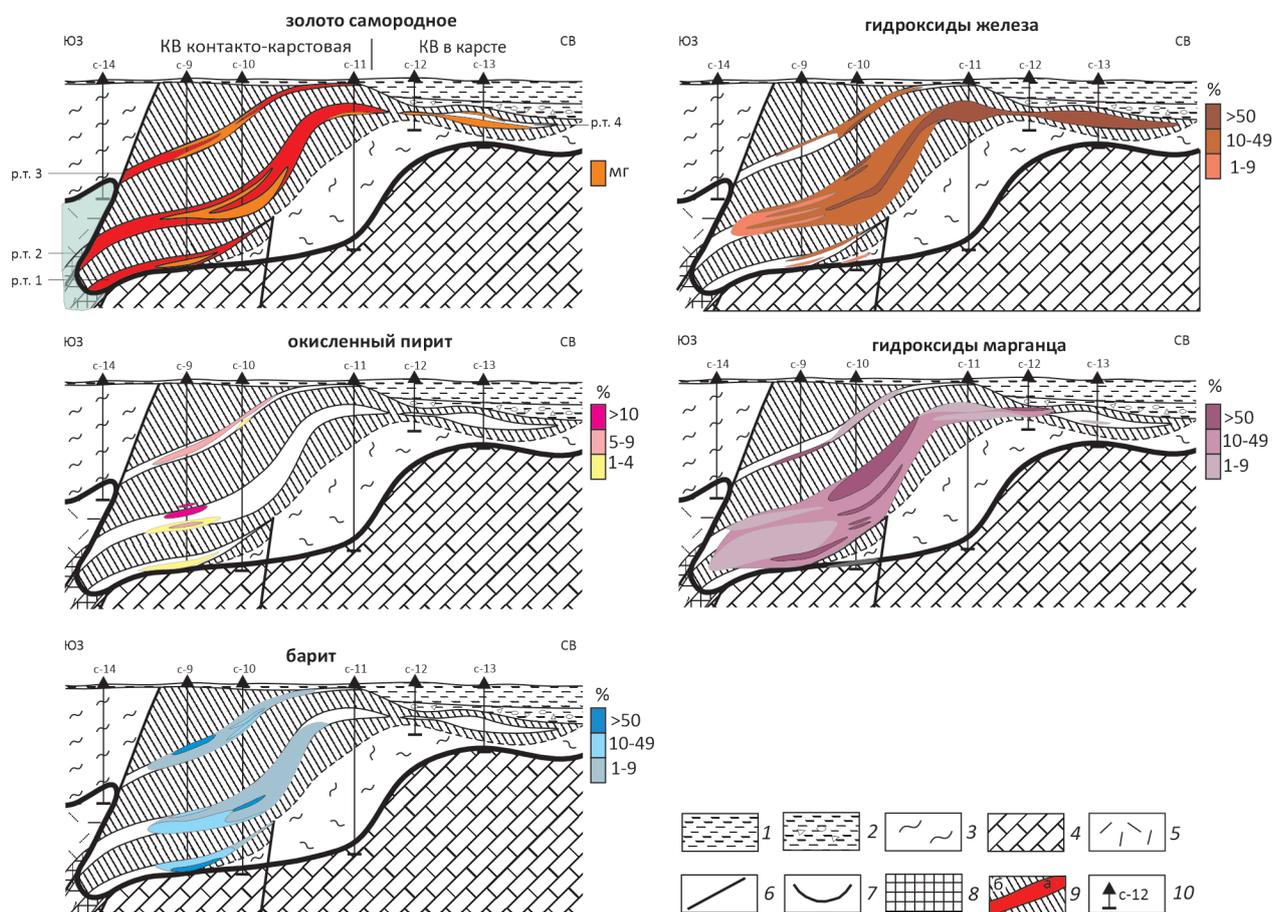


Рис. 6. Геологический разрез Июньского рудопроявления с результатами полуколичественного минералогического анализа шлиховых проб (в %), золото самородное (в мг):

1 – сероцветные и бурые глины и суглинки; 2 – красноцветные щебнисто-песчано-глинистые отложения с галькой, представленные продуктами разрушения и ближнего переотложения кор выветривания; 3 – нерасчленённые глинистые, охристо-глинистые и щебнисто-глинистые пёстроцветные коры выветривания мел-палеогенового возраста; породы: 4 – карбонатные и 5 – вулканогенно-терригенные; 6 – зоны тектонических нарушений; 7 – граница подошвы коры выветривания; 8 – тела прожилково-вкрапленных до сливных золотосодержащих сульфидных руд; 9 – рудные тела в коре выветривания: при бортовом содержании золота 0,5 г/т (а) и > 0,1 г/т (б); 10 – поисковые скважины и их номера

существование современного, компактного иллюстрированного пособия, в котором были бы актуализированы диагностические признаки минералов с учётом их изменений в экзогенных условиях. Также в образовательных программах геологических вузов недостаточно освещена методика микрохимических реакций для полевой диагностики.

Для восполнения пробела в ЦНИГРИ в 2024 г. начата работа над практическим пособием «Методические рекомендации по экспресс-диагностике минералов в шлиховых пробах в фотографиях».

В его основу легли обширные коллекции шлиховых проб, включающие примеры с фото минералов из разных типов рудных объектов и россыпей, а также собранные сотрудниками института при работе в различных регионах России и зарубежья – от Чукотки и Урала до Центральной Азии и Кавказа.

Разрабатываемое пособие будет иметь комплексный и практико-ориентированный характер и включать: подробный алгоритм проведения минералогического анализа шлихов (от отмучивания и магнитной сепарации до микроскопического изучения и микрохимических тестов); качественные фотографии 92 шлиховых минералов, демонстрирующие возможные их разновидности по морфологии, окраске, изменениям признаков в

коре выветривания и россыпях; описание диагностических признаков каждого минерала с фото-материалами результатов типовых реакций для наглядного и удобного применения. Материал книги будет построен как пошаговый справочник-определитель, позволяющий геологу быстро провести диагностику по принципу: увидел – сравнил – проверил – уточнил.

В работе показана классическая схема минералогического анализа шлихов, проверенная десятилетиями практики, с последовательными операциями, каждая из которых влияет на достоверность получаемых данных (рис. 7) [3, 8].

1. Подготовительный этап: отбор пробы, взвешивание и подробная документация исходного материала; промывка до чёрного или «серого» шлиха, с отмучиванием шламовой фракции (< 0,01 мм).

2. Классификация по крупности: разделение на ситах; взвешивание фракций.

3. Магнитная сепарация: выделение магнитной фракции «ручным» магнитом с фиксацией её массы.

4. Разделение в тяжёлой жидкости ($\rho \approx 2,9 \text{ г/см}^3$), например, бромформе или концентрированном водном растворе гетерополивольфрамата натрия (ГПС-В) на тяжёлую и лёгкую фракции.

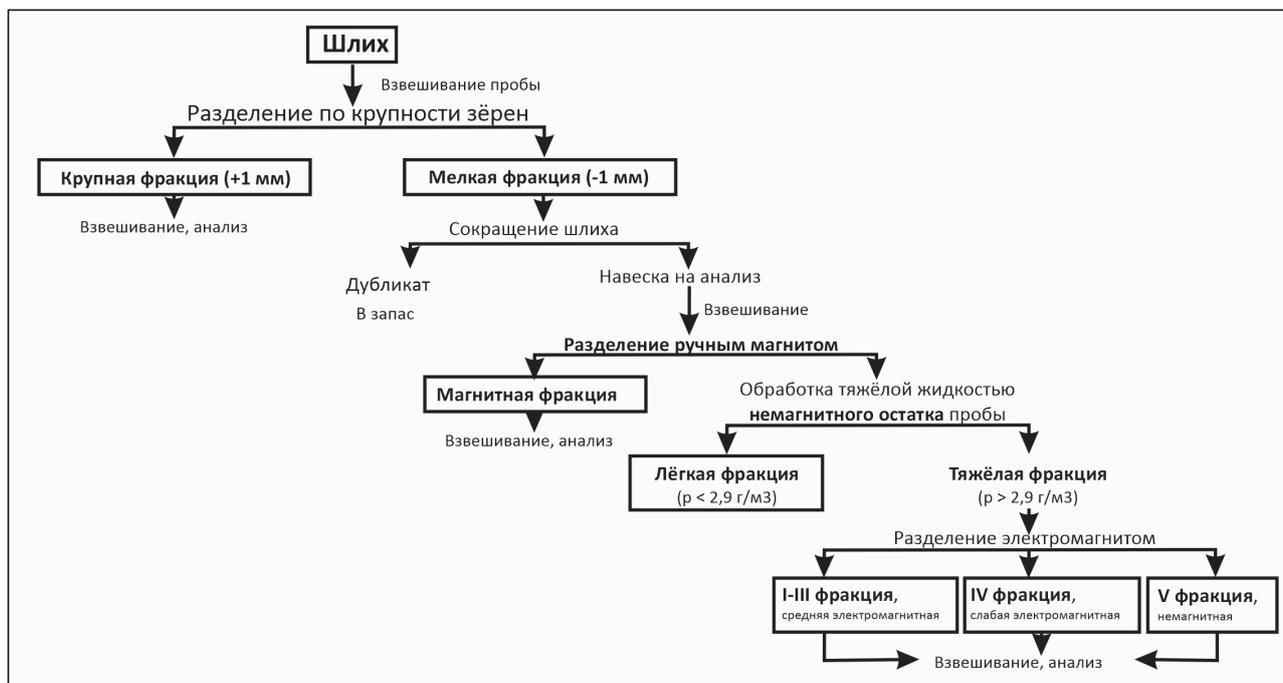


Рис. 7. Общая схема обработки шлиха для подготовки к минералогическому анализу. По [3]

5. Электромагнитная сепарация тяжёлой фракции на минералы по их магнитной восприимчивости: среднюю (I–III), слабую (IV) и немагнитную (V) фракции.

6. Микроскопическое исследование под бинокляром.

7. Микрохимический анализ для подтверждения состава минералов.

8. В завершение анализа оцениваются количественные содержания диагностируемых минералов в пробе, а результаты рекомендуется вносить в полевой журнал или электронную базу данных с автоматическим формированием минералогического паспорта пробы [2].

Минералы в пособии будут собраны в подразделы, отражающие поэтапную минералогическую сепарацию, а внутри них представлены в виде карточек с иллюстрированной характеристикой (рис. 8–9).

При работе с мелкими и тонкими фракциями шлихов и руд надёжным методом диагностики являются качественные микрохимические реакции. Подобраны простые, воспроизводимые реакции, требующие минимального количества материала (1–3 зерна минерала размером 0,3–0,5 мм и менее), малого объёма реактива и обеспечивающие высокую скорость исполнения.

Реакции не требуют сложной лабораторной установки – достаточно спиртовки, предметных стёкол, микропипеток, цинковой пластинки или дробинки, оловянной проволоки или шариков, а также простейший набор химических реактивов (соляная, азотная, серная кислоты; молибденовокислый аммоний, хиализарин, едкий калий и др.) (рис. 10). Это делает метод идеальным для экспресс-полевых лабораторий.

Примеры микрохимических реакций [8, 10, 13]:

- для *касситерита* (SnO_2): плёночная реакция касситерита на олово с соляной кислотой на цинковой пластинке с образованием «оловянного зеркала» (рис. 11);

- для *монацита* ($(\text{Ce}, \text{La} \dots) \text{PO}_4$) и *апатита* ($\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{F}, \text{Cl}, \text{OH})$): реакция с молибденовокислым аммонием в присутствии азотной кислоты с образованием жёлтого осадка (рис. 12);

- для *шеелита* (CaWO_4) с металлическим Sn в соляной кислоте с появлением синей плёнки (рис. 13).

Метод экспресс-диагностики минералов в шлихах представляет собой современный, эффективный инструмент поисковой геологии, обеспечивающий оперативное получение достоверных данных о минеральном составе рудной минерализации, коренных пород и рыхлых отложений.

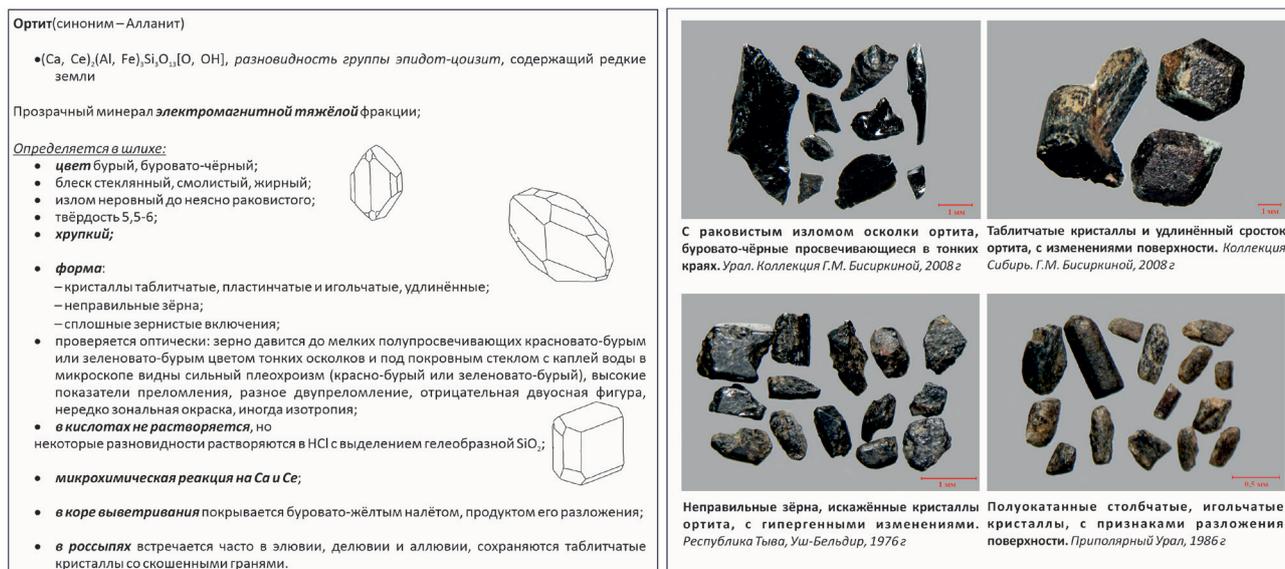


Рис. 8. Характеристика ортита – минерала тяжёлой электромагнитной фракции шлиха

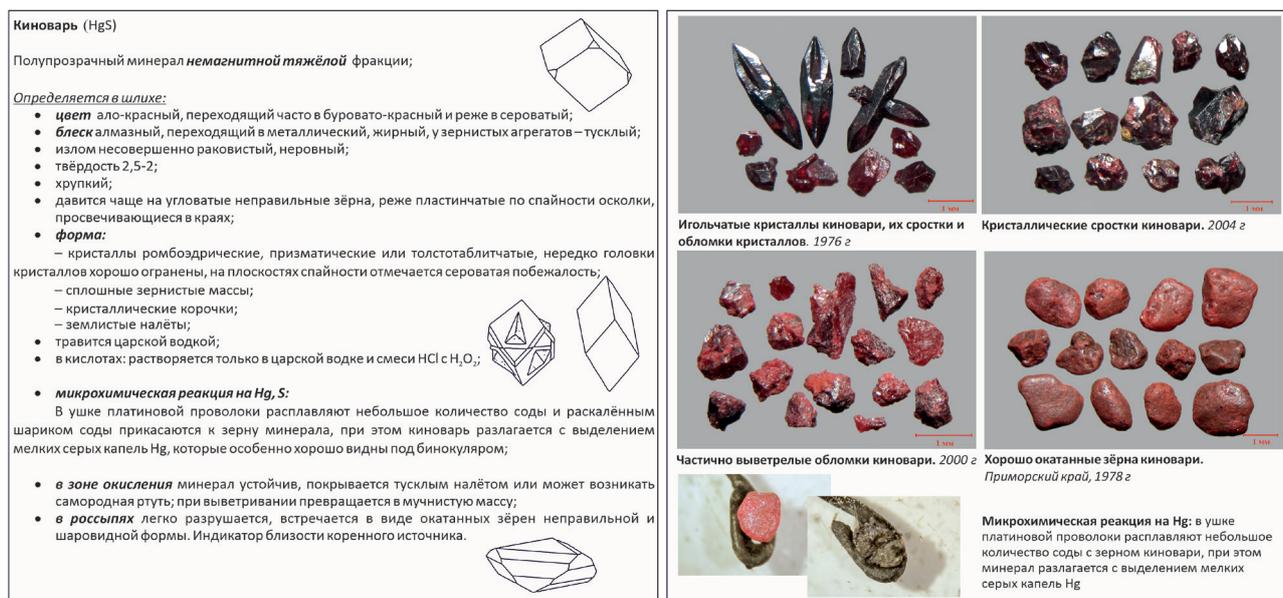


Рис. 9. Характеристика киновари – минерала тяжёлой немагнитной фракции шлиха

Метод результативен при работах в районах с развитыми корами выветривания. Его применение позволяет сокращать объёмы трудоёмких и дорогостоящих анализов и целенаправленно использовать их по отобраным пробам.

Разработка методических рекомендаций ЦНИГРИ создаёт основу для широкого внедрения шлихоминералогического анализа в практику геологоразведочных работ на всех стадиях.

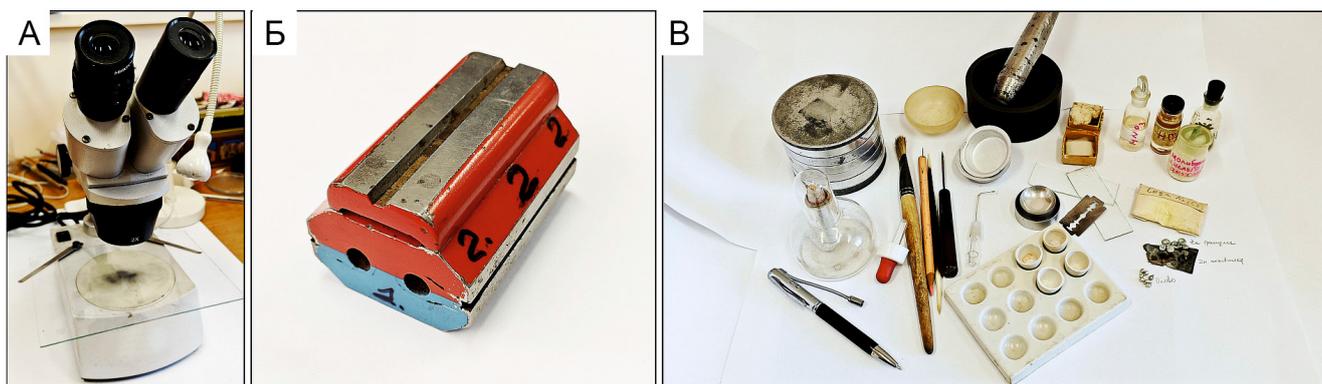


Рис. 10. Оборудование, необходимое для экспресс-лаборатории при минералогическом анализе: бинокляр (А), магнит Соичева, тип С-5 (Б), полевой набор (В) со спиртовкой, ситами, агатовой ступкой, кисточками, предметными стёклами, пипетками, иглами, цинковой пластинкой, оловянными и цинковыми шариками, простейшими химическими реактивами и др.

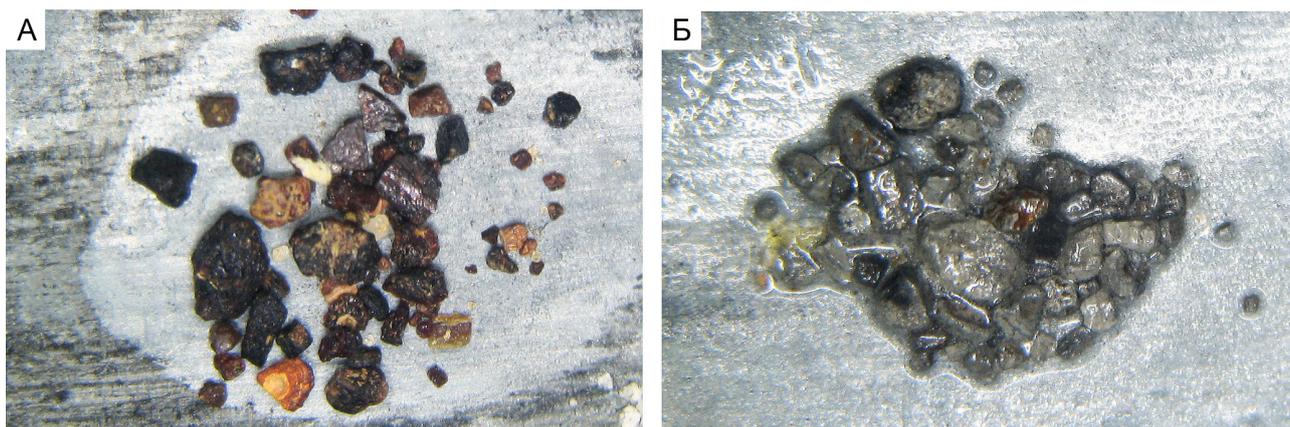


Рис. 11. Микрохимическая плёночная реакция: зёрна касситерита помещают на цинковую пластинку (А) и прибавляют несколько капель соляной кислоты, вследствие восстановительной реакции на поверхности минералов образуется блестящий металлический налёт Sn «оловянное зеркало» (Б)

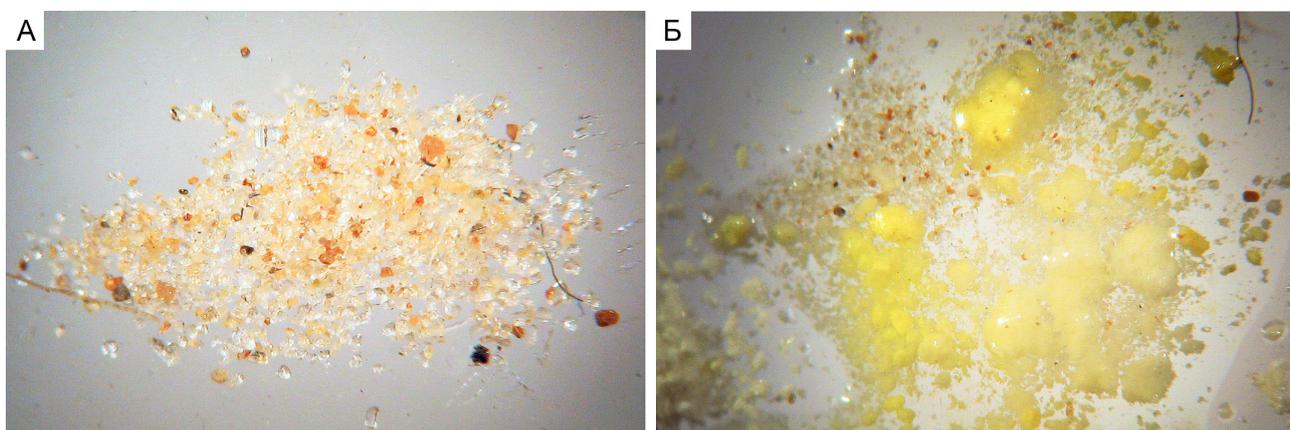


Рис. 12. Микрохимическая реакция апатита (А) на фосфор с молибденовокислым аммонием в присутствии азотной кислоты (А); при нагревании образуется жёлтый осадок фосфомолибдата аммония, подтверждающий наличие фосфатов (Б)

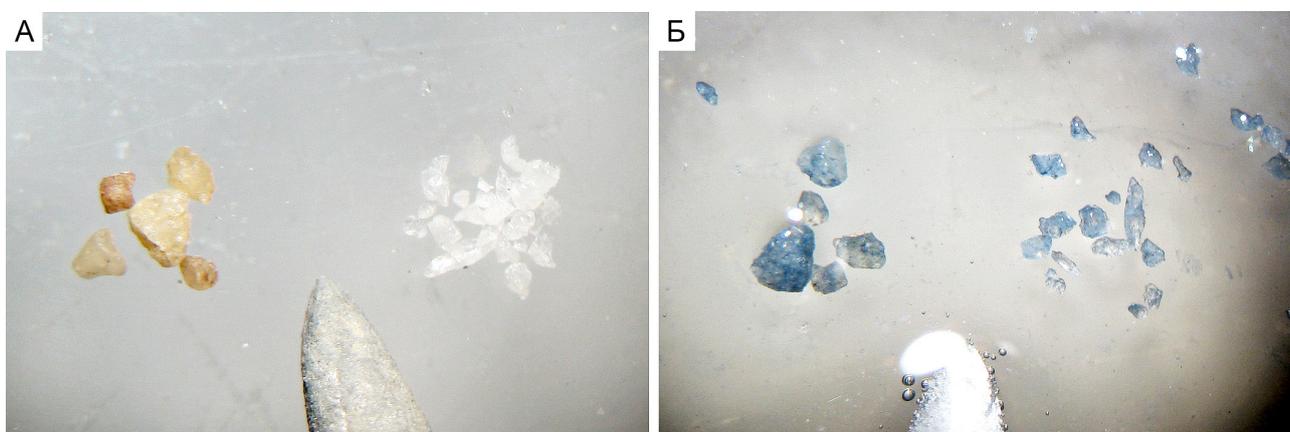


Рис. 13. Микрохимическая реакция шеелита: при нагревании с металлическим Sn в капле соляной кислоты (А) появляется интенсивно-синяя плёнка оксида вольфрама (Б)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Агибалов О. А., Зубова Т. П., Позднякова Н. Н.* Отражение особенностей вещественного состава золотоносной коры выветривания в минералогических ореолах и геохимических аномалиях на примере отдельных участков Еравненской перспективной площади (Республика Бурятия) // Отечественная геология. – 2023. – № 1. – С. 34–45.
2. *Гуреев В. Ф.* Методические рекомендации по поискам золоторудных месторождений минералого-геохимическим методом. – М. : ЦНИГРИ, 1970. – 9 с.
3. *Захарова Е. М.* Атлас минералов россыпей. – М. : ГЕОС, 2006. – 276 с.
4. *Зубова Т. П.* Закономерности изменения вещественного состава в ряду: кора выветривания-россыпь на примере Июньского месторождения Северо-Восточного Салаира // Руды и металлы. – 2011. – № 2. – С. 46–51.
5. *Зубова Т. П., Агибалов О. А., Иванов Н. М.* [и др.] Строение и вещественный состав золотоносных кор химического выветривания Кедровско-Ивдельского рудно-россыпного узла, восточный склон Северного Урала // Руды и металлы. – 2013. – № 4. – С. 37–47.
6. *Зубова Т. П., Краснов А. Н., Черемисина Е. А.* Использование минералого-геохимических методов при поисках золотоносных кор выветривания в различных геолого-геоморфологических обстановках // Отечественная геология. – 2019. – № 2. – С. 39–47.
7. *Константинов М. М., Болдова Л. П., Гасанов С. Н.* [и др.] Поиск золоторудных месторождений шлиховым минералого-геохимическим методом. Методические рекомендации. – М. : ЦНИГРИ, 1986. – 81 с.
8. *Копчёнова Е. В.* Минералогический анализ шлихов и рудных концентратов. – М. : Недра, 1979. – 247 с.
9. *Николаева Л. А., Гаврилов А. М., Некрасова А. Н.* [и др.] Изучение самородного золота при геолого-разведочных работах. – М. : ЦНИГРИ, 2023. – 74 с.
10. *Новиков В. А., Сочнева Э. Г., Коновалова М. С.* Использование химических реакций для диагностики минералов при минералогических анализах // Методические указания. – М. : ЦНИГРИ, 1985. – 31 с.
11. *Позднякова Н. Н., Зубова Т. П.* Типоморфизм самородного золота как критерий определения типа золоторудной минерализации в корях выветривания Еравнинского рудного района (Республика Бурятия) // Отечественная геология. – 2024. – № 1. – С. 43–52.
12. *Риндзюнская Н. М., Зубова Т. П., Голенев В. Б.* [и др.] Геолого-методические основы прогноза, поисков и оценки месторождений золота в корях выветривания. – М. : ЦНИГРИ, 2023. – 162 с.
13. *Трушкова Н. Н., Кухаренко А. А.* Атлас минералов россыпей. – М. : ВСЕГЕИ, 1961. – 436 с.

REFERENCES

1. *Agibalov O. A., Zubova T. P., Pozdnyakova N. N.* Otrazheniye osobennostey veshchestvennogo sostava zolotonosnoy kory vyvetrivaniya v mineralogicheskikh oreolakh i geokhimicheskikh anomal'yakh na primere otdelnykh uchastkov Yeravnenskoj perspektivnoy ploshchadi (Respublika Buryatiya) [Reflection of the features of the material composition of the gold-bearing weathering crust in mineralogical halos and geochemical anomalies using the example of individual sections of the Eravnskaya prospective area (Republic of Buryatia)], *Otechestvennaya geologiya*, 2023, No. 1 pp. 34–45 (In Russ.)
2. *Gureyev V. F.* Metodicheskiye rekomendatsii po poiskam zolotorudnykh mestorozhdeniy mineralogo-geokhimicheskim metodom [Methodological recommendations for prospecting for gold ore deposits using the mineralogical and geochemical method], Moscow, TSNIGRI publ., 1970, 9 p. (In Russ.)
3. *Zakharova Ye. M.* Atlas mineralov rossypey [Atlas of placer minerals], Moscow, GEOS publ., 2006, 276 p. (In Russ.)
4. *Zubova T. P.* Zakonomernosti izmeneniya veshchestvennogo sostava v ryadu: kora vyvetrivaniyarossyp na primere Iyun'skogo mestorozhdeniya Severo-Vostochnogo Salaira [Patterns of change in material composition in the series: weathering crust-placer on the example of the June deposit of North-East Salair], *Rudy i metally*, 2011, No. 2, pp. 46–51. (In Russ.)
5. *Zubova T. P., Agibalov O. A., Ivanov N. M.* [et al.] Stroyeniye i veshchestvennyy sostav zolotonosnykh kor khimicheskogo vyvetrivaniya Kedrovsko-Ivdelskogo rudno-rossypnogo uzla, vostochnyy sklon Severnogo Urala [Structure and material composition

- of gold-bearing crusts of chemical weathering of the Kedrovsk-Ivdel ore-placer cluster, eastern slope of the Northern Urals], *Rudy i metally*, 2013, No. 4, pp. 37–47. (In Russ.)
6. *Zubova T. P., Krasnov A. N., Cheremisina Ye. A.* Ispolzovaniye mineralogo-geokhimicheskikh metodov pri poiskakh zolotonosnykh kor vyvetrivaniya v razlichnykh geologo-geomorfologicheskikh obstanovkakh [Use of mineralogical and geochemical methods in the search for gold-bearing weathering crusts in various geological and geomorphological settings], *Otechestvennaya geologiya*, 2019, No. 2, pp. 39–47. (In Russ.)
 7. *Konstantinov M. M., Boldova L. P., Gasanov S. N.* [et al.] Poisk zolotorudnykh mestorozhdeniy shlikhovym mineralogo-geokhimicheskim metodom. Metodicheskiye rekomendatsii [Prospecting for gold ore deposits using the panning mineralogical-geochemical method. Methodological recommendations], Moscow, TSNIGRI publ., 1986, 81 p. (In Russ.)
 8. *Kopchonova Ye. V.* Mineralogicheskiy analiz shlikhov i rudnykh kontsentratsiy [Mineralogical analysis of concentrates and ore concentrates], Moscow, Nedra publ., 1979, 247 p. (In Russ.)
 9. *Nikolayeva L. A., Gavrilov A. M., Nekrasova A. N.* [et al.] Izucheniye samorodnogo zolota pri geologorazvedochnykh rabotakh [Study of native gold in geological exploration], Moscow, TSNIGRI publ., 2023, 74 p. (In Russ.)
 10. *Novikov V. A., Sochneva E. G., Konovalova M. S.* Ispolzovaniye khimicheskikh reaktsiy dlya diagnostiki mineralov pri mineralogicheskikh analizakh [Use of chemical reactions for diagnostics of minerals in mineralogical analyses], *Metodicheskiye ukazaniya*, Moscow, TSNIGRI publ., 1985, 31 p. (In Russ.)
 11. *Pozdnyakova N. N., Zubova T. P.* Tipomorfizm samorodnogo zolota kak kriteriy opredeleniya tipa zolotorudnoy mineralizatsii v korakh vyvetrivaniya Yeravninskogo rudnogo rayona (Respublika Buryatiya) [Typomorphism of native gold as a criterion for determining the type of gold ore mineralization in the weathering crusts of the Eravninsky ore region (Republic of Buryatia)], *Otechestvennaya geologiya*, 2024, No. 1, pp. 43–52.
 12. *Rindzyunskaya N. M., Zubova T. P., Golenev V. B.* [et al.] Geologo-metodicheskiye osnovy prognoza, poiskov i otsenki mestorozhdeniy zolota v korakh vyvetrivaniya [Geological and methodological foundations for forecasting, prospecting and evaluating gold deposits in weathering crusts], Moscow, TSNIGRI publ., 2023, 162 p. (In Russ.)
 13. *Trushkova N. N., Kukharenskiy A. A.* Atlas mineralov rossyep [Atlas of placer minerals], Moscow, VSEGEI publ., 1961, 436 p. (In Russ.)

Статья поступила в редакцию 27.10.25; одобрена после рецензирования 14.11.25; принята к публикации 14.11.25.
The article was submitted 27.10.25; approved after reviewing 14.11.25; accepted for publication 14.11.25.

Геолого-структурная и минералого-геохимическая модели золото-серебряного оруденения Валунистого рудного района (Чукотский АО)

Аннотация. Актуальность работы связана с необходимостью повышения эффективности проводимых на территории Валунистого рудного района (ВРР) геологоразведочных работ. ВРР включает множество золото-серебряных эпитермальных проявлений, а также три месторождения: среднее по запасам золота Валунистое, мелкие Горное и Жильное. Цели исследования – выявление геолого-структурных и минералого-геохимических особенностей месторождений ВРР, выделение минералого-геохимических типов оруденения, исследование стадийности и зональности минералообразования. Методика работы заключалась в исследовании вещественного состава отобранных в ходе полевых работ образцов жильных, метасоматических образований, вмещающих пород. Анализ сравнения геологического строения рудных зон, минерального состава руд, их геохимической специализации, а также особенностей золота и серебра позволили выделить два минералого-геохимических типа: золото-сульфосольный (месторождение Валунистое, сформированное в породах околожерловой группы фаций) и серебро-полисульфидный (месторождение Жильное, сформированное в породах склоновой группы фаций). На разработанной минералого-геохимической модели оруденения ВРР прослеживается общая тенденция увеличения следующих параметров от нижнерудного уровня к верхнему: золото-серебряное отношение, пробность золота, количество Au и Ag содержащих теллуридов и селенидов, концентрация Au, Se, As, Bi, Sb. В то же время происходит сокращение количества сульфидов и акантита, снижение концентрации Ag, Pb, Zn, Mo, Ni. Выделяются два этапа минералообразования: кварц-полевошпатовый и кальцит-флюоритовый. Руды месторождения Жильное сформированы на кварц-полевошпатовом этапе, а руды месторождения Валунистое – последовательно на двух этапах. Начало гидротермальных процессов обусловлено образованием жил и прожилков различного состава с широким распространением брекчий и сопровождающим их околожильным метасоматозом. Осаждение сульфидов происходило после неоднократного дробления жил различного состава. Осаждение минералов Au и Ag происходило на поздних стадиях рудного процесса, после образования жильных минералов и сульфидов, в общем случае независимо от наличия или отсутствия жил разного типа.

Ключевые слова: Чукотка, эпитермальные, месторождения, золото, серебро, руды, Валунистое, Жильное.

ГОЛДЫРЕВ ВИТАЛИЙ НИКОЛАЕВИЧ, кандидат геолого-минералогических наук, главный специалист¹, консультант², vg121297@yandex.ru

ОСОВЕЦКИЙ БОРИС МИХАЙЛОВИЧ, доктор геолого-минералогических наук, профессор, руководитель сектора наноминералогии, заведующий Лабораторией минералого-петрографических исследований Естественнонаучного института³, opal@psu.ru

ГОРЯКОВ КИРИЛЛ ИГОРЕВИЧ, начальник управления¹, консультант², k.goryakov@uralmine.com

¹ Управление геологоразведочных работ и развития ресурсной базы, «Уральская горно-металлургическая компания» (ОАО «УГМК»), г. Верхняя Пышма

² Технический университет УГМК, г. Верхняя Пышма

³ Пермский государственный национальный исследовательский университет (ПГНИУ), г. Пермь

Geological-structural and mineralogical-geochemical models of gold-silver mineralization in the Valunistyi ore district, Chukotka Autonomous Okrug

V. N. GOLDYREV^{1,2}, B. M. OSOVETSKY³, K. I. GORYAKOV^{1,2}

¹ Department of Geological Exploration and Resource Base Development, Ural Mining and Metallurgical Company (OAO "UGMK"), Verkhnyaya Pyshma

² UMMC Technical University, Verkhnyaya Pyshma

³ Perm State National Research University (PGNIU), Perm

Abstract. Relevance of this study is determined by the need to improve the efficiency of geological exploration in the Valunistyi ore district (VOD). The VOD comprises numerous epithermal gold-silver occurrences, as well as three ore deposits, the Valunistoe medium-sized gold deposit and the Gornoe and Zhilnoe smaller deposits. The objectives of this study were to identify the geological-structural and mineralogical-geochemical features of the VOD deposits, to identify mineralogical and geochemical types of the mineralization, and to investigate the stages and zonality of the mineral formation. Methodology of the study consisted in analyzing the material composition of vein, metasomatic, and host rock samples collected during the fieldwork. A comparative analysis of geological structure of the ore zones, of the ore mineral composition and geochemical specialization, and of the gold and silver characteristics have allowed us to distinguish two mineralogical and geochemical types of the mineralization: the gold-sulfosalt type (Valunistoe gold deposit formed in rocks of the near-vent facies group) and the silver-polysulfide type (Zhilnoe gold deposit formed in rocks of the slope facies group). The developed mineralogical and geochemical model of the VOD mineralization demonstrates a general trend for increasing the following parameters from the lower ore level to the upper one: gold-silver ratio, gold fineness, amount of Au- and Ag-bearing tellurides and selenides, and concentration of Au, Se, As, Bi, and Sb. At the same time, the amount of sulfides and acanthite and the concentration of Ag, Pb, Zn, Mo, and Ni decrease in the same direction. Two stages of the mineral formation are distinguished, the quartz-feldspar and calcite-fluorite ones. The ores of the Zhilnoe deposit formed during the quartz-feldspar stage, while those of the Valunistoe deposit formed in two successive stages. The beginning of the hydrothermal processes brought about formation of veins and stringers of various composition, with widespread breccias and accompanying near-vein metasomatism. Sulfide precipitation occurred after repeated fragmentation of the veins of various composition. The Au and Ag minerals precipitated at the late stages of the ore process, after formation of the gangue minerals and sulfides, generally regardless of the presence or absence of veins of the various types.

Key words: Chukotka, epithermal, ore deposits, gold, silver, ores, Valunistoe, Zhilnoe.

Введение. Актуальность работы обусловлена наметившимся в последние годы спадом золотодобычи в Чукотском автономном округе (ЧАО). Существует необходимость выработки комплекса мер для наращивания прогнозных ресурсов золота Чукотки и реализации её золоторудного потенциала [5, 7, 13, 24].

Вещественный состав руд месторождений Валунистого рудного района, особенности благородно-металлической минерализации и условия её образования были детально изучены в работах [2–4, 6, 11, 19, 20, 23, 25, 26, 30]. Несмотря на это, результаты данных исследований нуждаются в дополнительном

анализе, обобщении и систематизации. Кроме того, весьма актуальным и принципиальным представляется более подробное рассмотрение пространственно-временных условий образования рудной минерализации района, что в конечном счёте позволит рационализировать проводимые геолого-разведочные работы [14].

Цели исследования: выявление геолого-структурных и минералого-геохимических особенностей месторождений ВРР, выделение минералого-геохимических типов оруденения, исследование стадийности и зональности минералообразования.

Объект исследования. ВРР находится на территории Анадырского района Чукотского автономного округа (ЧАО) в Арктической зоне России, в 237 км к северо-востоку от окружного центра – г. Анадырь (рис. 1).

Район как перспективный был выделен сравнительно недавно [37]. Материалы по геологии территории исследования приведены во многих опубликованных источниках [1, 29, 38 и др.] и в фондовых отчётах по геолого-съёмочным, поисково-оценочным, разведочным и тематическим работам.

В геолого-структурном плане ВРР находится в пределах Анадырской кольцевой мегаструктуры и относится к Амгуэмо-Канчаланскому вулканическому полю, которое расположено в Восточно-Чукотской фланговой зоне Охотско-Чукотского вулканогенного пояса. ОЧВП наложен на вещественные комплексы Кони-Танюерской складчатой системы Корьякско-Камчатской складчатой области.

Из стратифицируемых образований района выделены следующие стратоны: в различной степени метаморфизованные вулканогенно-осадочные и осадочные породы условно девона (уэленейцевская толща) и карбона (озернинская и шумнинская толщи); вулканогенно-осадочные отложения верхней юры–нижнего мела (пекульнейцевская свита); раннемеловые вулканогенные отложения (волчегорская толща); позднемеловые вулканогенные отложения (амгеньская толща, экитыкинская, леурваамская и нунлигранская свиты); палеоцен-эоценовые вулканогенные отложения (танюерская свита); рыхлые отложения среднего и верхнего звена неоплейстоцена, голоцена. Магматические образования представлены тремя плутоническими (мургальский, экитыкинский, леурваамский) и пятью вулканическими (амгеньский, экитыкинский, леурваамский, нунлигранский и танюерский) комплексами.

Основной рудоконтролирующей структурой района является Канчаланская зона глубинных разломов. В её пределах локализованы основные гидротермальные и метасоматические образования (пропилиты, аргиллизиты, вторичные кварциты), приуроченные к локальным вулканотектоническим структурам.

В металлогеническом плане район относится к Анойско-Чукотской металлогенической провинции, к Канчалано-Амгуэмской металлогенической зоне [8]. В пределах ВРР расположено множество золото-серебряных эпитеpmальных проявлений

(Огненное, Шах, Осеннее, Кремовое, Раздольное, Кузьмич и др.), а также три месторождения: среднее по запасам золота Валунистое, мелкие Горное и Жильное.

Методика исследований. Полевые работы были выполнены В. Н. Голдыревым в 2018–2019 гг. в процессе проведения поисково-оценочных работ на Кремовой площади (АО «Северо-Восточное ПГО»), разведочных работ на месторождении Жильное (ООО «Канчалано-Амгуэмская площадь»), эксплуатационно-разведочных и добычных работ на месторождении Валунистое и Горное (ООО «Рудник Валунистый»). Лабораторные работы были проведены в Центре коллективного пользования с помощью уникальной научной аппаратуры ПГНИУ и включали следующие виды аналитических исследований: сканирующая электронная микроскопия, микрозондовый анализ.

Особенности месторождения Жильное. В большинстве фондовых и опубликованных материалов существуют представления о том, что геологическое строение и минеральный состав руд являются аналогичными для всех месторождений и проявлений ВРР. Однако месторождение Жильное имеет ряд отличительных особенностей, которые необходимо учитывать при разработке геолого-структурной и минералого-геохимической моделей золото-серебряного оруденения ВРР.

Геолого-структурные особенности месторождений. В пределах зоны «Главная» месторождения Валунистое рудовмещающими породами являются риодациты жерловой фации леурваамского комплекса (λK_2Ir). Рудные тела быстро выклиниваются с выходом рудовмещающих структур в пирокластические фации вулканитов экитыкинской свиты (K_2ek). В пределах зоны «Новая» рудовмещающими являются стратифицированные вулканогенные отложения экитыкинской свиты, которые прорываются силлоподобными телами риодацитов леурваамского комплекса.

К основным геологическим особенностям месторождения Валунистое [9] относятся: 1) наличие в рудных телах большого количества брекчий и мегабрекчий с кокардовыми текстурами обрастания обломков различного петрографического состава халцедон-адуляровым агрегатом, а также разнообразие брекчий, маркирующих рудные зоны; 2) локализация оруденения преимущественно контролируется субвулканическими телами риодацитов леурваамского комплекса; 3) значительная протяжённость рудоносных зон по простиранию.

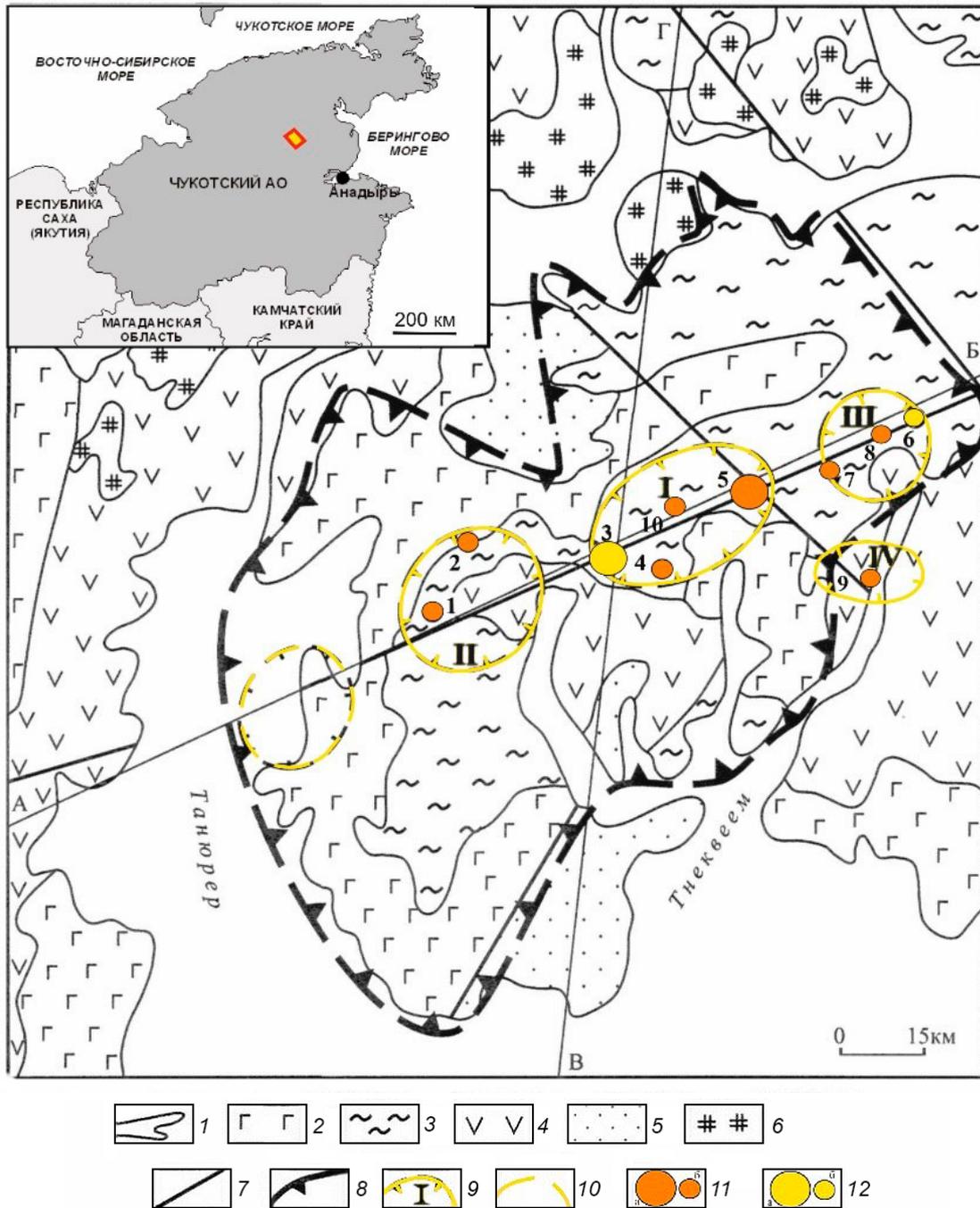


Рис. 1. Схематическая геологическая карта Валунистого рудного района. По [37], с дополнениями авторов:

1 – четвертичные аллювиальные отложения; 2 – верхнемеловые-палеогеновые (сеноман-датские) базальты, андезиты, риолиты (андезибазальтовая, риолитовая формация); 3 – верхнемеловые риолиты, риодациты, их туфы и игнимбристы (риолитовая, риодацитовая формация); 4 – верхнеюрские-нижнемеловые, ниже-верхнемеловые андезиты, дациты, риолиты и их туфы (андезитовая, риодацитовая формация); 5 – терригенные нижнекарбоновые отложения (карбонатно-терригенная формация); 6 – ранне- и позднемеловые гранитоиды (гранодиорит-гранитная формация); 7 – разломы; границы: 8 – рудного района, 9 – рудных узлов: I – Валунистый, II – Ныгчекваамский, III – Теркнейский, IV – Центральный; 10 – прогнозируемый рудный узел; 11 – серебряно-золотые месторождения (а) и рудопроявления (б): 1 – Осеннее, 2 – Ныгчекваам, 4 – Шах, 5 – Валунистое, Горное, 7 – Лунное, 8 – Кремовое, 9 – Центральное, 10 – Оранжевое; 12 – серебряные (с золотом) месторождения (а) и рудопроявления (б): 3 – Жильное, 6 – Теркней

Эти особенности, по-видимому, обусловлены формированием оруденения в околожерловых фациях палеовулканической постройки [18]. Аналогичные геолого-структурные особенности характерны для крупных месторождений Купол и Двойное Центрально-Чукотского сектора ОЧВП [10, 12, 34].

Для месторождения Жильное, в отличие от месторождения Валунистое, характерны чёткое стратифицированное строение пород, отсутствие субвулканических тел риолитов верхнемелового леурваамского комплекса (полевые наблюдения и буровые работы не подтвердили их наличие), присутствие порфириовидных диоритов, в том числе и в качестве рудовмещающих, широкое развитие пострудных даек андезитов, подчинённая роль колломорфно-зональных, ритмично полосчатых, крипто- и мелкозернистых, каркасно-петельчатых текстур, редкое присутствие тел брекчий неболь-

шой мощности. Данные особенности позволяют относить его к склоновой группе фаций.

Таким образом, в пределах палеовулканического сооружения Валунистого рудного узла (рис. 2), сформировавшегося на протяжении нескольких этапов, золото-серебряное оруденение связано с околожерловой (месторождение Валунистое) и склоновой (месторождение Жильное) группами фаций. Аналогичное разделение Au-Ag оруденения по группам фаций выделено [34] в пределах Кайемравеемского рудного узла (Центральная Чукотка). Околожерловая группа фаций включает жерловую, экзтрузивную, эффузивную и постмагматическую (интрузивные и субвулканические тела) фации, склоновая группа фаций – эффузивную, пирокластическую и лахаровую фации. Удалённая включает пирокластическую, тефроидную фацию.

Минералого-геохимические особенности месторождений. Вмещающие породы месторожде-

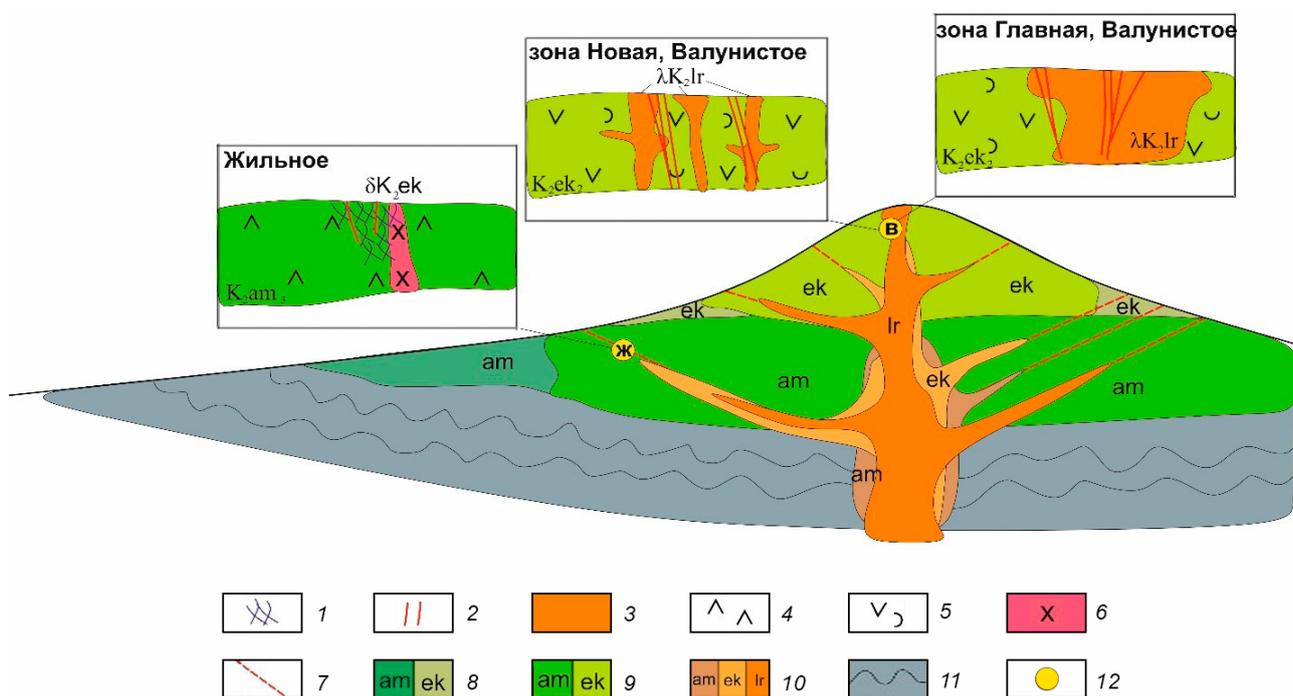


Рис. 2. Схематическая палеовулканическая реконструкция вулканического сооружения Валунистого рудного узла:

1 – полисульфидные жилы и прожилки; 2 – Au-Ag жилы; 3 – риолиты; 4 – дациты; 5 – туфы среднего состава; 6 – диоритовые порфиры; 7 – тектонические нарушения; 8–10 – породы группы фаций: 8 – удалённой, 9 – склоновой, 10 – околожерловой; 11 – складчатое основание; 12 – золото-серебряные месторождения: Жильное (Ж), Валунистое (В); вулканические комплексы: амгеньский (am), экитыкинский (ek), леурваамский (lr)

ния Жильное неравномерно гидротермально-метасоматически изменены и превращены в пропилиты эпидот-хлоритовой фации (рис. 3) и разнопроявленные вторичные кварциты. На отдельных участках породы подвержены аргиллизации. Подавляющий объём выявленных проявлений рудной минерализации в центральной части месторождения маркируются полем сплошного развития аргиллизитов. Наиболее широко на месторождениях проявлены процессы окварцевания, карбонатизации и сульфидизации.

Особенностями гидротермально-изменённых пород месторождения Жильное относительно других объектов ВРР являются очень «пёстрый» состав минеральных фаций, что обусловлено различным составом и физико-механическими свойствами эффузивов; преимущественное развитие пропилитов при слабой распространённости аргиллизитов, что может свидетельствовать о сравнительно глубоком уровне эрозионного среза.

Оруденение месторождения Жильное локализуется в минерализованных участках среди кварцевых жильно-прожилковых зон. Зоны прожилкового окварцевания являются главными составляющими выделяемых на месторождении рудных тел. Кварцевые жилы как обособленный морфоло-

гический тип рудных тел в пределах месторождения не имеют самостоятельного промышленного значения, хотя являются доминирующими на других месторождениях ВРР. Фактически данные минерализованные участки представляют собой в разной степени оруденелые вмещающие породы, лишены определённых геологических границ, а их промышленные контуры устанавливаются только по результатам сплошного опробования.

По результатам разведочных работ 2019 г. в центре месторождения была выявлена зона гидротермальных брекчий с сульфидно-кварцевым цементом (рис. 4, Б, Г). Чёрный цемент этих брекчий представляет собой гидротермальные образования, аналогичные таковым в прожилках (см. рис. 4, А). Чёрные кварц-сульфидные прожилки пересекают более ранние безрудные кварц-адуляровые прожилки предыдущей стадии минералообразования, а также внедряются в них (см. рис. 4, В, Д).

По данным бороздового и кернового опробования, содержания благородных металлов в отдельных пробах составляют 10–20 г/т Au и 100–3500 г/т Ag. Мощность зон брекчий достигает 25 м. В них, начиная от дневной поверхности, увеличиваются содержания благородных метал-



Рис. 3. Кварц-адуляровое прожилкование по хлоритизированным дацитам, месторождение Жильное.

Фото В. Н. Голдырева

лов до максимальных значений в интервале 25–75 м, которые затем снижаются до практически полного отсутствия на глубине 130 м. Далее их уровень остаётся неизменным и сопровождается высокими значениями серебряно-золотого отношения (СЗО). Максимальные содержания ($Au_{\text{усл.}}$ 40–90 г/т) отмечаются в центральной части трубок брекчий [16].

Установлено, что зоны развития брекчий связаны с участками высокой трещиноватости пород. Часто их сопровождают жильно-прожилковые зоны, участки интенсивных метасоматических изменений (окварцевание, полнопроявленные аргиллизиты). Золотоносность брекчий непостоянная, однако при появлении брекчий происходит резкое повышение содержания благородных металлов в сопровождающих зонах интенсивных метасоматических изменений и жильно-прожилковой минерализации. При этом возможно оконтуривание отдельных рудных тел. В этих же зонах, но вдали (на расстоянии 30 м и более) от брекчий, золото и серебро практически отсутствуют.

Предшественники относили данные брекчий к взрывным образованиям и считали, что они являются рудовмещающими. Подобные брекчий встречаются на многих вулканогенных объектах [32, 33, 36], в том числе и на соседнем месторождении Валунистое [9]. Однако, в отличие от Жильного, их состав более изменчив (как пиритовый, так и гематитовый).

Эти факты позволяют сделать вывод о том, что оруденение связано с наложенными зонами интенсивных метасоматических изменений и жильно-прожилковыми зонами, а брекчий с учётом их пространственной связи с благороднометалльной минерализацией являются зонами повышенной концентрации благородных металлов.

Жильная минерализация на месторождении Жильное отличается от таковой на месторождении Валунистое широким развитием адуляра (21 и 6 % соответственно), плагиоклаза (10 %) и хлорита (2 и 0,2 % соответственно). На месторождении Валунистое в жильных образованиях плагиоклаз отсутствует, зато достаточно часто при-

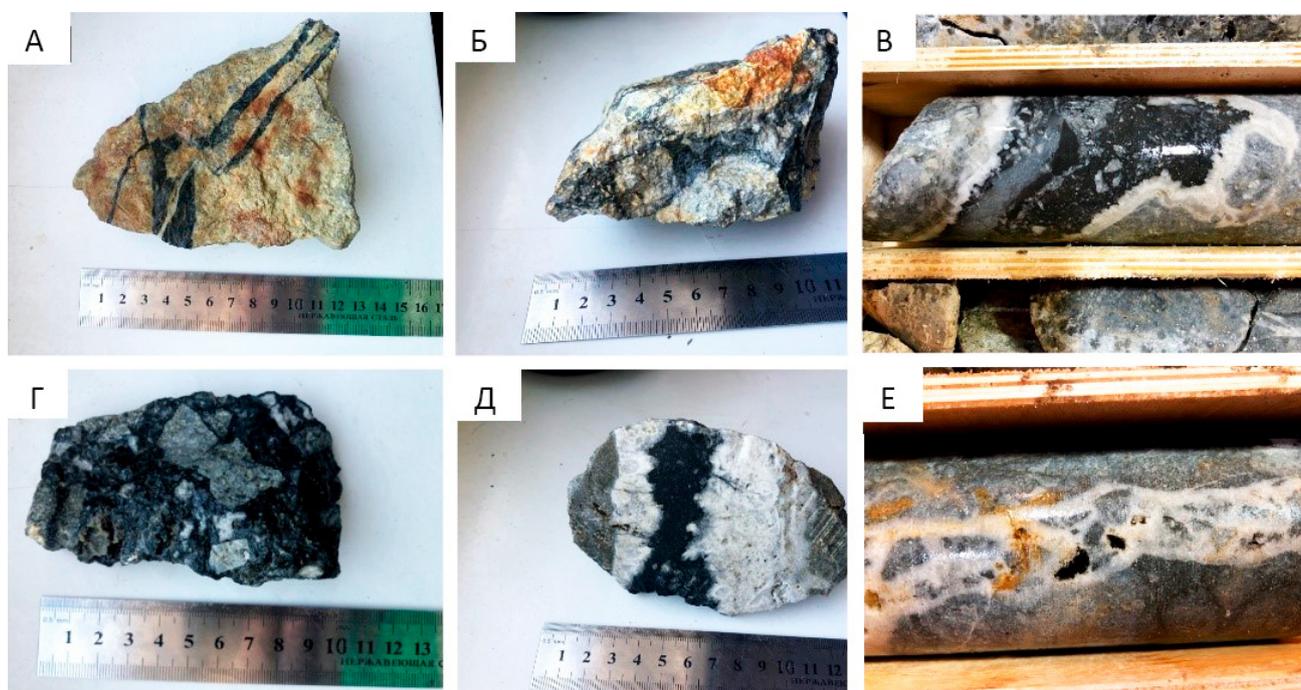


Рис. 4. Гидротермальные образования месторождения Жильное:

А – кварц-сульфидные прожилки; Б, Г – кварц-сульфидный цемент гидротермальных брекчий; В, Д – кварц-сульфидные полосы и просечки в кварц-адуляровой жиле; Е – серебряная минерализация в кварцевом прожилке

сутствуют флюорит и кальцит. На Жильном месторождении кальцит развит в значительно меньшей степени, тогда как флюорит вообще отсутствует.

Рудная минерализация отличается большей распространённостью сульфидно-полиметаллической ассоциации в рудах (см. рис. 3). Так, содержание сульфидов (преимущественно пирита) в рудах Жильного – 3,1, а в рудах Валунистого – 0,4 %. Пирит является самым распространённым (более 95 %) рудным минералом. Его химический состав [15] весьма близок к стехиометрическому, в качестве микропримесей почти постоянно присутствуют Cu, Zn, Co, реже встречаются Se, As, Pb, Cd, Bi. Такой состав элементов-примесей может указывать на нижнерудный уровень минерализации [21].

Благороднометалльная минерализация. Для руд месторождения Жильное характерно однообразие минеральных форм серебра при преобладающей роли акантита и меньшем развитии самородного серебра и полибазита.

Акантит распространён повсеместно и в самых разнообразных формах, широкой гаммы размерности, в разных минералах и участках породы. Особенно крупными (до 100 мкм и более) являются зональные включения в кварце. Относительно крупные (более 10 мкм) зёрна акантита отличаются сложной формой и встречаются в пустотах центральных частей зёрен пирита. Нередко акан-

тит замещает пирит и халькопирит. По составу акантит (Ag 77–89 %, наличие примесей As, Cu, Hg) (табл. 1) наиболее схож с акантитом, встречаемым на месторождениях Дукат, Извилистое, Аган, Утесное, Юное [31].

Самородное серебро отмечается в значительно меньшем количестве, чем акантит. По цвету самородное серебро характеризуется как стально-серое, серебристо-серое. Некоторые зёрна имеют блестящую поверхность, отмечаются чёрные зёрна за счёт окисления поверхности металла. Характерны включения других минералов на поверхности (сульфиды и самородное золото). Самородное серебро имеет нестандартный состав с наличием большого количества примесей Fe и Au (табл. 2), что указывает на ранние парагенезисы минерала [31], а присутствие Hg в его составе является не типичным для Au-Ag минерализации месторождений ОЧВП [22].

Самородное золото тонкое, компактное, с неровными контурами, размером до первых миллиметров. По цвету серебристо-серое, на поверхности имеются включения гидроксидов железа. Как правило, весьма низкопробное и низкопробное (480–650 ‰), характерным в составе золотин является наличие значительного количества серебра (41,76–48,42 мас.%) [15]. Также отмечаются примеси Cd, Fe, As, Hg. Кроме того, в пирите «распылены» субмикроскопические частицы, в

Табл. 1. Химический состав включений акантита, мас.%

| Элемент | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|
| Fe | 0,60 | 1,14 | – | 1,05 | 6,69 | 4,40 | 1,81 | 1,03 | 1,14 | 4,32 |
| S | 9,52 | 9,74 | 11,30 | 10,98 | 15,54 | 13,41 | 12,69 | 14,01 | 9,74 | 14,32 |
| As | 0,63 | – | – | – | – | – | – | – | – | 0,29 |
| Ni | – | – | 0,08 | – | – | 0,09 | – | – | – | – |
| Zn | – | 0,13 | 0,53 | 0,14 | – | 0,55 | | | 0,13 | |
| Cu | 0,27 | – | – | – | – | – | 0,17 | 1,87 | – | – |
| Hg | – | 0,28 | – | – | – | 0,24 | – | – | 0,28 | – |
| Bi | – | – | – | – | – | 0,54 | – | – | – | – |
| Pb | – | – | – | 0,64 | – | 0,48 | – | – | – | – |
| Au | 0,45 | – | – | – | – | – | – | – | – | – |
| Ag | 88,53 | 88,70 | 88,09 | 87,19 | 77,77 | 76,68 | 84,94 | 83,09 | 88,70 | 81,06 |
| Cd | – | – | – | – | – | 3,61 | – | – | – | – |
| Se | – | – | – | – | – | – | 0,39 | – | – | – |
| Сумма | 100,00 | 99,99 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 99,99 | 99,99 |

Табл. 2. Химический состав минералов ряда Au-Ag, мас.%

| Элемент | Самородное золото (электрум) | | | | | | Самородное серебро | |
|---------|------------------------------|-------|--------|-------|--------|--------|--------------------|--------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| Fe | 0,76 | 1,44 | 0,44 | 0,75 | – | 0,76 | 1,23 | 8,00 |
| Co | – | – | – | – | – | – | – | – |
| Ni | – | – | – | – | – | 0,05 | – | – |
| Cu | 1,21 | 1,30 | 0,48 | 0,46 | 1,17 | 0,38 | 0,44 | 0,86 |
| Zn | 0,57 | 0,20 | 0,22 | 0,28 | 0,89 | – | – | 0,69 |
| As | 0,35 | 0,19 | 0,35 | – | – | 0,23 | – | 0,28 |
| Se | – | – | – | – | – | – | – | – |
| Ag | 42,40 | 41,76 | 46,62 | 48,42 | 23,16 | 46,90 | 28,30 | 76,32 |
| Cd | 2,81 | 2,67 | 2,86 | 3,91 | 1,65 | 2,76 | 2,25 | 5,44 |
| Sn | – | – | – | – | – | – | – | – |
| Sb | – | – | – | – | – | – | – | – |
| Au | 51,42 | 52,04 | 48,54 | 42,94 | 72,70 | 48,39 | 67,00 | 4,74 |
| Hg | – | 0,37 | 0,49 | – | 0,44 | 0,53 | 0,38 | 0,20 |
| Pb | 0,49 | – | – | 3,22 | – | – | 0,10 | 3,16 |
| Bi | – | – | – | – | – | – | – | 0,31 |
| Сумма | 100,01 | 99,97 | 100,00 | 99,98 | 100,01 | 100,00 | 99,70 | 100,00 |

составе которых присутствуют Au и Ag [16]. Соотношение Au/Ag в этих частицах составляет 1 : 1,4 и позволяет диагностировать их как электрум.

Для руд месторождения Валунистое отмечаются два максимума пробности самородного золота (560–600 и 820–850 ‰), большое разнообразие Ag-содержащих минералов, значительные количества халькогенидов, амальгам Au и Ag и минералов пирсеит-полибазитового ряда. Это объясняется привнесом элементов Hg, Sb, Se, Te. Кроме того, на Валунистом и Горном зафиксированы [19, 20] две генерации акантита: первая генерация образует сростания с электрумом, галенитом, халькопиритом, а также включения в пирите, содержит примеси Se от 1,6 до 8,4 мас.%, тогда как вторая генерация обнаружена в виде кайм и прожилков в рудных минералах и содержит Se до 3,3 мас.%. В то же время на Жильном обнаружена одна генерация акантита, содержание Se в котором не превышает 1 %.

Характерной особенностью месторождения Жильное является резкое преобладание серебра над золотом: Ag/Au руд месторождения Жильное составляет более 50, руд месторождения Валунистое – от 5 до 50. Это отношение представляется индикаторным во многих аспектах, в частности является важным минералого-геохимиче-

ским индикатором, указывающим на определённую специфику рудной минерализации. Так, в результате проведённых исследований [15–17] установлено, что в рудных и аномальных пробах месторождения Жильное с большой величиной Ag/Au (свыше 50–70) основным рудным минералом является акантит при явно подчинённом количестве электрума. На месторождении Валунистое, в аналогичных пробах с небольшими величинами Ag/Au (от 0,6 до 15) основная рудная минерализация представлена электрумом при незначительном распространении акантита.

Минералого-геохимические типы оруденения. Результаты сопоставления (табл. 3) характеристик рудных зон, минерального состава руд, их геохимической специализации, особенностей благороднометалльной минерализации месторождений Валунистое и Жильное позволяют сделать вывод, что золото-серебряное оруденение ВРР относится к двум минералого-геохимическим типам: золото-сульфосольному и сереброполисульфидному.

1. К золото-сульфосольному типу относятся убогосульфидные (0,4 %) руды месторождения Валунистое, представленные карбонат-кварцевыми жилами и кварц-гидрослюдистыми метасоматитами в риодацитах. Для руд характерны

Табл. 3. Сравнительная характеристика золото-серебряного оруденения Валунистого рудного района

| Основные характеристики | Золото-серебряная формация | |
|-------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | Золото-сульфосольный тип (месторождение Валунистое) | Серебро-полисульфидный тип (месторождение Жильное) |
| Характеристика рудных зон | | |
| Морфология | Кварцевые жилы и кварц-гидрослюдистые метасоматиты в риодацитах | Минерализованные зоны среди кварцевых жильно-прожилковых зон в пропильтизированных дацитах |
| Текстуры | Ритмично-зональные, крустификационные, колломорфно-полосчатые, брекчиевые | Вкрапленная, прожилковая, массивная, пятнистая |
| Минеральный состав руд | | |
| Породообразующие минералы** | Кварц (87 %), адуляр (6 %), глинисто-гидрослюдистые минералы (5 %), кальцит (0,2 %), хлорит (0,2 %). Руды убогосульфидные (0,4 %) | Кварц (60 %), адуляр (17 %), плагиоклазы (10 %), глинисто-гидрослюдистые минералы (5 %), хлорит (4 %). Руды малосульфидные (3,1 %) |
| Минералы Au и Ag | Главные – акантит; второстепенные – Au сам., Ag сам. *, полибазит*, минералы системы Ag–Se–S*; редкие – пирсеит*, фрейбергит*, минералы систем Ag–Te–Se–S*, Ag–Se–S*, Ag–Te–S*, Ag–Bi–Te–S*, Ag–Pb–Te–S*, гессит*, матильдит*, штрмейерит* | Главные – акантит; второстепенные – электрум, Ag сам., полибазит*; редкие – медистый акантит |
| Характеристики золота и серебра | | |
| Среднее содержание золота и серебра | Au – 5,3 г/т; | Au – 1,9 г/т; |
| | Ag – 49,8 г/т | Ag – 355,8 г/т |
| Серебряно-золотое отношение | 9,4 | 192,3 |
| Пробность золота*** | Весьма низкопробное (560–600 ‰) | Весьма низкопробное и низкопробное (480–650 ‰) |
| | Средней пробности (820–850 ‰) | |
| Геохимическая специализация**** | | |
| Главные элементы | Au, Ag | Ag, Hg, Pb |
| Элементы-спутники | Sb, As, Cu, Hg | Au, Ni, Mo, Zn |

Примечание. * – минералы, отмеченные предшественниками [2, 3, 6, 9, 11, 20, 25] (Шабалин, 1994ф); ** – данные ООО «НИПИ «ТОМС»; *** – используется классификация [Петровская, 1973]; **** – по данным (Матвеев, 1981ф; Шабалин, 1994ф; Воронец, 1995ф).

ритмично-зональные, крустификационные, коллоидно-полосчатые, брекчиевые текстуры, серебряно-золотое отношение 9,4, относительно высокое содержание Au (5,3 г/т) при среднем содержании Ag (49,8 г/т), большое разнообразие Ag-содержащих минералов, значительные количества халькогенидов Au и Ag и минералов пирсеит-полибазитового ряда.

2. К серебро-полисульфидному типу относятся малосульфидные (3,1 %) руды месторождения Жильное, представленные минерализованными зонами среди кварцевых жильно-прожилковых зон в пропилизированных дацитах. Для руд характерны вкрапленная, прожилковая, массивная, пятнистая текстуры, проявление полиметаллической сульфидной минерализации, однообразие минеральных форм серебра при преобладающей роли сульфидов серебра (акантита), доминирование

серебра над золотом (серебряно-золотое отношение 192,3), относительно высокое содержание Ag (355,8 г/т) при низком содержании Au (1,9 г/т).

Гидротермальные образования объектов серебро-полисульфидного типа отличаются более высокой температурой формирования [34], что находит подтверждение и для объектов ВРР (рис. 5). Полная гомогенизация флюидных включений в кварце на месторождении Жильное происходит при температурах 273–350 °С [19], на Валунистом – 203–284 °С [9].

Вертикальная зональность Au-Ag оруденения установлена в работах [27, 35, 39–42, 44]. Опираясь на результаты данных работ и исследований вещественного состава руд ВРР [2–4, 6, 9, 11, 19–21, 25, 26, 31], была построена минералогическая геохимическая модель оруденения ВРР (рис. 6), на которой прослеживается общая тенденция уве-

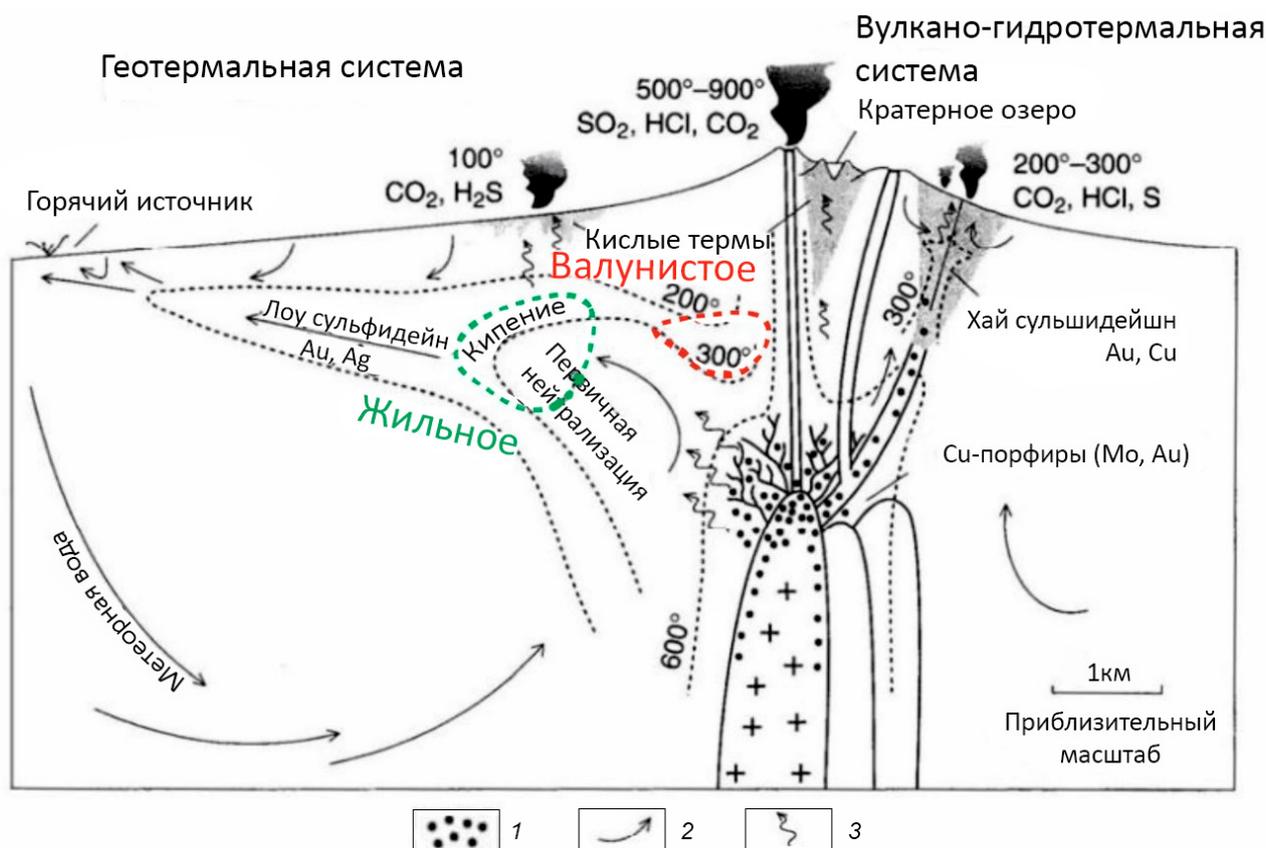


Рис. 5. Место месторождений Жильное и Валунистое на модели (Hedenquist, Lowenstern, 1994) вулcano-гидротермальной системы:

1 – минерализованный магматический флюид; 2 – поток жидких гидротерм; 3 – восходящий поток летучих компонентов

личения следующих параметров от нижнерудного уровня к верхнему: золото-серебряное отношение (ЗСО), пробность золота, Au- и Ag-содержащие теллуриды и селениды, концентрация Au, Se, As, Bi, Sb. В то же время происходит сокращение количества сульфидов и акантита, снижение концентрации Ag, Pb, Zn, Mo, Ni.

Нижнерудный уровень характеризуется кварц-полевошпатовыми прожилками, редко жилами с хлоритом, которые сопровождаются метасоматически изменёнными (окварцевание, пропилитизация) участками пород. На отдельных участках развита обильная сульфидно-полиметаллическая ассоциация минералов. Благороднометаллическая минерализация представлена акантитом, самородным серебром и низкопробным золотом (электрум и кюстелит).

Рудный уровень характеризуется кварц-адуляровыми жилами, содержащими преимущественно акантит и низкопробное золото (электрум). Количество акантита и сульфидов меньше, а ЗСО выше, чем на предыдущей стадии.

Верхнерудный уровень характеризуется кальцит-кварцевыми (иногда с флюоритом) жилами. Минерализация данных образований представлена теллуридами, селенидами, сульфидами и сульфосолями Au и Ag. Количество акантита становится минимальным. Из твёрдых растворов Au-Ag широко развито высокопробное золото, иногда не содержащее Ag.

Стадийность минералообразования в пределах ВРР рассматривалась в работах [9, 11, 19, 20] и производственных отчётах. Анализ результатов исследований, а также полевые наблюдения и ком-

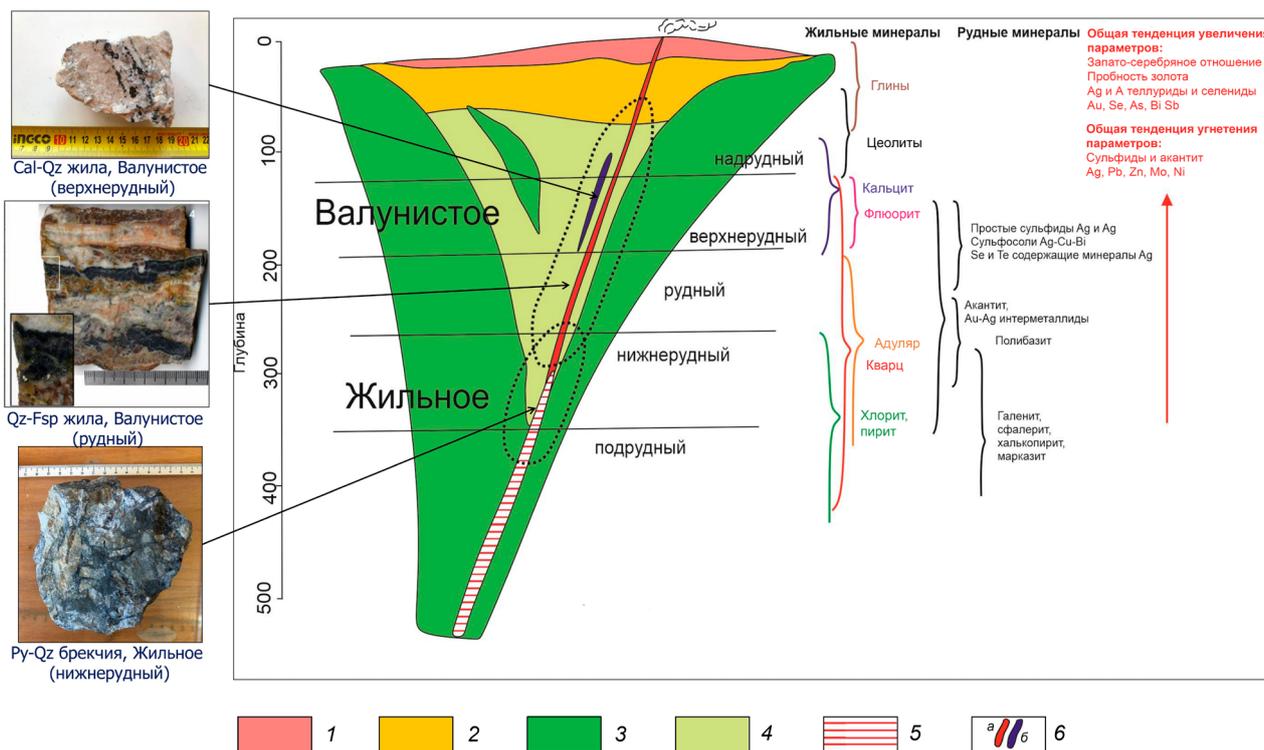


Рис. 6. Минералого-геохимическая модель золото-серебряного оруденения Валунистого рудного района:

1 – кварцевые отложения, киноварь, редко пирит; 2 – аргиллизитовая шляпа: алунит, каолинит, пирит; 3 – пропилитизация: хлорит, иллит, карбонат, пирит, монтмориллонит, эпидот увеличивается с глубиной; 4 – иллит, мусковит-серпичит, адуляр; 5 – окварцевание, обычно с адуляром, незначительная альбитизация; 6 – жильные образования: а – кварцевые, б – карбонат-флюорит-кварцевые

плексный подход к изучению минерального состава пород и руд и их взаимоотношений друг с другом [14–17] позволили модернизировать схему последовательности отложения минералов (рис. 7).

Начало гидротермальных процессов обусловлено образованием жил и прожилков различного состава с широким распространением брекчий и сопровождающим их околожилным метасоматозом (пропилитизация, окварцевание, серицитизация, аргиллизация).

Процесс образования жил включает два условно выделяемых этапа: кварц-полевошпатовый и кальцит-флюоритовый.

Кварц-полевошпатовый этап представлен гидротермальными образованиями двух типов: кварц-полевошпатовые жилы и прожилки с хлоритом, «чёрные» пирит-кварцевые прожилки с полевым шпатом и хлоритом, иногда с гематитом (см. рис. 3), характерные для глубоких горизонтов рудных тел, например для месторождения Жильное. В образованиях данного этапа с уменьшением глубины происходит увеличение содержания кварца и уменьшение содержания хлорита. Полевой шпат, как правило, представлен адуляром, на глубоких горизонтах сменяется альбитом.

Кальцит-флюоритовый этап характеризуется образованием кальцитовых жил и прожилков часто с флюоритом, иногда с гипсом, цеолитами. Появление данных образований связывают [9] с очередным тектоническим импульсом. Они типичны для верхней части жильного тела и имеют широкое развитие на месторождениях Валунистое и Горное, рудопроявлении Кремовое.

Осаждение сульфидов происходило после неоднократного дробления жил различного состава. Сульфидная минерализация преимущественно представлена тонкопрожилковыми выделениями. Отложение осуществлялось в следующей последовательности: пирит → марказит → сфалерит → халькопирит → галенит (рис. 8, А–Г).

Осаждение минералов Au и Ag происходило на поздних стадиях рудного процесса, после образования жильных минералов и сульфидов, в общем случае независимо от наличия или отсутствия жил разного типа. Жилы, очевидно, являются предпочтительными структурно-литологическими ловушками-осадителями для сульфидов и минералов Au и Ag и можно говорить лишь о парагенетической связи жил и рудной минерализации с общим гидротермально-магматическим очагом.

Генетическая независимость рудной минерализации от жил подтверждается наличием многочисленных пустых кварцевых жил, особенно на их окончаниях и на флангах месторождения, а также столбовым, ленточным и бонанцевым распределением золота в жилах, в более поздних деформационных структурах – полостях отслоения жил в зальбандах, в флексурных перегибах жил, в осложняющих жилы трещинах.

Акантит является самым ранним минералом благородных металлов. Он часто заполняет трещины и пустоты в кристаллах сульфидов, образует их в виде каёмки, деформирует, а также замещает эти минералы (см. рис. 8, Г–З). Минералы ряда Au-Ag (см. рис. 8, И, К) отлагаются позже, чем акантит. Электрум образуется в виде самостоятельных выделений, а также каёмки замещения по раннему акантиту и изометричных включений в сульфидах [17].

Халькогениды Au и Ag и сульфосоли Ag, по представлениям [44], преимущественно распространены на верхнерудном уровне оруденения и образуются после вышеописанных минералов. Это связано с тем, что их формирование происходит на самых поздних стадиях рудообразующего процесса из слабокислых растворов на фоне снижения температуры от 350 до 100 °С, уменьшения фугитивностей серы, теллура и селена, а также изменения окислительно-восстановительной обстановки минералообразования [20, 26, 33].

Продуктивность кальцитового этапа. В более ранних исследованиях [9, 11] высказано предположение, что флюорит-кальцитовые жилы являются пострудными и рудная минерализация в них скорее переотложенная нежели привнесённая. Однако в данных гидротермальных образованиях сульфиды и минералы благородных металлов отлагались позднее жильных минералов (см. рис. 8, Л, М). Следовательно, скорее всего, более поздние минералы Au и Ag (высокопробное золото, Se-акантит, халькогениды Au и Ag) имеют пространственную связь с флюорит-кальцитовыми жилами. Данное наблюдение подтверждает тот факт, что, несмотря на разубоживание жил кальцитом и флюоритом, именно в кварц-флюоритовых и кварц-кальцитовых жилах содержание Au и Ag значительно выше, чем в кварц-адуляровых. Наиболее ярко этот факт демонстрирует следующая вертикальная зональность оруденения проявления Кремовое:

1. Флюорит-кварцевые жилы и прожилки (содержание Au – до 6,0–81,9 г/т, Ag – до 150,0–5002,6 г/т).

| Этап Стадия Мин. ассоциация Минерал | Гидротермальный | | | Гипергенный |
|----------------------------------------------|----------------------|-----------------------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------------------|
| | Кварц-полевошпатовая | | Кальцит-флюоритовый | |
| | Доруд- ная | Ag-акантит- сульфидно- полиметаллич- еская | Au-Ag акантит- сульфосольная | Au-Ag акантит- селенидно- сульфосольная |
| Кварц | ██████████ | ██████████ | ██████████ | ██████████ |
| Хлорит | ██████████ | ██████████ | ----- | ----- |
| Полевой шпат | ██████████ | ██████████ | ██████████ | ██████████ |
| Флюорит | ██████████ | ██████████ | ----- | ██████████ |
| Кальцит | ----- | ----- | ----- | ██████████ |
| Глинисто-гидрослюдистые минералы | ██████████ | ██████████ | ██████████ | ██████████ |
| Гематит | ██████████ | ██████████ | ██████████ | ██████████ |
| Магнетит | ██████████ | ██████████ | ██████████ | ██████████ |
| Пирит | ██████████ | ██████████ | ██████████ | ██████████ |
| Марказит | ██████████ | ----- | ----- | ----- |
| Арсенопирит | ██████████ | ----- | ----- | ----- |
| Сфалерит | ██████████ | ██████████ | ----- | ----- |
| Халькопирит | ██████████ | ██████████ | ----- | ----- |
| Галенит | ██████████ | ██████████ | ----- | ----- |
| Акантит | ██████████ | ██████████ | ██████████ | ----- |
| Сульфосоли Ag* | ██████████ | ██████████ | ██████████ | ██████████ |
| Se и Te минералы Ag* | ██████████ | ██████████ | ██████████ | ██████████ |
| Сульфиды Au-Ag* | ██████████ | ██████████ | ██████████ | ██████████ |
| Тв. растворы Au-Ag | ██████████ | ██████████ | ██████████ | ----- |

Примечание. Толщина линий указывает на относительную степень распространения минерала, штриховая линия – минерал встречается спорадически; * – минералы, отмеченные предшествующими исследованиями [2, 3, 6, 9, 11, 20, 25] (Шабалин, 1994ф; Новоселов, 2018)

Рис. 7. Схема последовательности минералообразования Валунистого рудного района

2. Адуляр-кварцевые жилы и прожилки (содержание Au – до 1,8–10,2 г/т, Ag – до 50,0–873,0 г/т).

3. Жилы разноразмерного кавернозного кварца с убогой сульфидной минерализацией (содержание Au – до 1,2 г/т, Ag – до 106,5 г/т).

Заключение. В пределах палеовулканического сооружения Валунистого рудного узла, имеющего несколько этапов развития, золото-серебряное оруденение связано с околожерловой и склоновой группами фаций и относится к двум минералогеохимическим типам: золото-сульфосольному (месторождение Валунистое) и серебро-полисульфидному (месторождение Жильное).

Выделяются два этапа минералообразования: кварц-полевошпатовый и кальцит-флюоритовый.

Руды месторождения Жильное сформированы на кварц-полевошпатовом этапе, а руды месторождения Валунистое – последовательно на двух этапах.

С прогнозно-поисковых позиций полевошпатохлорит-кварцевые жилы распространены на более глубоких горизонтах рудных тел, а карбонат-кварцевые жилы с гипсом, цеолитами и флюоритом типичны для верхней части жильного тела и являются показателем уровня эрозионного среза. Золото-серебряное оруденение с кондиционными параметрами, как правило, концентрируется именно в жилах среди вторичных кварцитов и аргиллизитов и в меньшей мере отмечается в околожильных метасоматитах. Рудоносные метасоматиты чаще встречаются на более глубоких горизонтах отра-

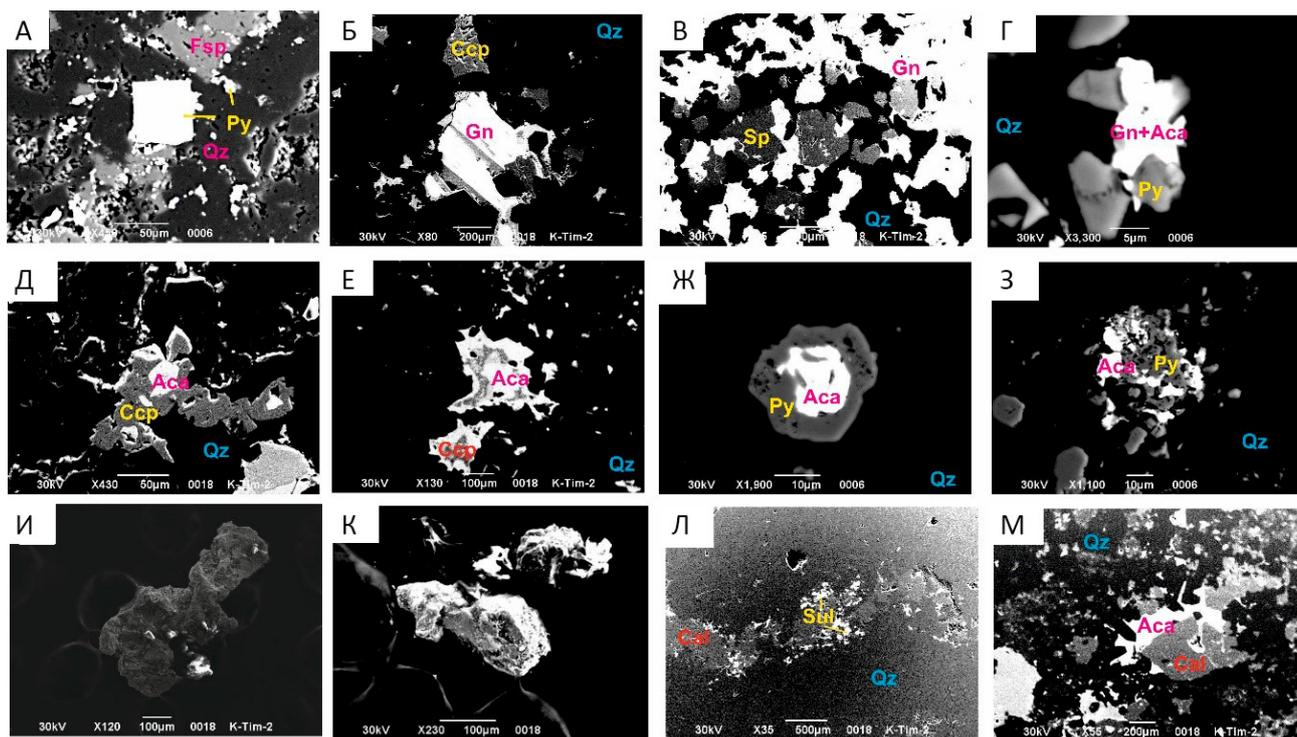


Рис. 8. Выделения минералов Валунистого рудного района:

А – кубический кристалл пирита и сплошная зона пиритизации на контакте кварца и адуляра (Жильное), Б – сросток халькопирита и галенита (Валунистое), В – сростания сфалерита и галенита (Валунистое), Г – сросток галенита с акантитом на пирите (Жильное), Д – сросток халькопирита и акантита (Валунистое), Е – замещение халькопирита акантитом (Валунистое), Ж – акантит в пирите (Жильное), З – акантит в корродированном кристалле пирита (Жильное), И – низкопробное золото (Жильное), К – самородное серебро (Жильное), Л – карбонатный прожилок с сульфидами в кварце (Валунистое), М – акантит в кальците и кварце (Кремовое); Qz – кварц, Fsp – полевои шпат, Cal – кальцит, Py – пирит, Csp – халькопирит, Gn – галенит, Sp – сфалерит, Aca – акантит, Sul – сульфиды

ботки месторождения на уровне развития полевошпат-хлорит-кварцевых жил. Вертикальный размах оруденения в пределах ВРР составляет 300 м.

Таким образом, с учётом более благоприятных геологических (количество и концентрации золота, выдержанность по простиранию и мощности

рудных тел) и экономико-технологических условий (показатели извлечения полезных компонентов, простота оконтуривания и разработки рудных тел) целесообразно проводить геологоразведочные работы только на объектах золото-сульфосолевого типа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Белый В. Ф.* Геология Охотско-Чукотского вулканогенного пояса. – Магадан : СВКНИИ ДВО РАН, 1994. – 76 с.
2. *Беляева Т. В.* Условия образования халькогенидов серебра на эпитермальных месторождениях северо-востока России : специальность 25.00.05 «Минералогия, кристаллография» : дис. на соискание учён. степ. канд. геол.-минерал. наук / Татьяна Владимировна Беляева. – Новосибирск : ФГАОУ ВО НГУ, 2022. – 136 с.
3. *Беляева Т. В., Пальянова Г. А.* Сульфиды и селениды серебра в рудах Au–Ag эпитермальных месторождений Охотско-Чукотского вулканогенного пояса // Геология рудных месторождений. – 2023. – Т. 65, № 1. – С. 74–108.
4. *Бортников Н. С., Волков А. В., Савва Н. Е., Прокофьев В. Ю., Колова Е. Е., Долманова-Тополь А. А., Мурашов К. Ю.* Эпитермальные Au-Ag-Te-Se месторождения Чукотки (арктическая зона России): металлогения, минеральные парагенезисы, флюидный режим // Геология и геофизика. – 2022. – Т. 63 (4). – С. 522–549.
5. *Бортников Н. С., Лобанов К. В., Волков А. В., Галямов А. Л., Мурашов К. Ю.* Арктические ресурсы цветных и благородных металлов в глобальной перспективе // Арктика: экология и экономика. – 2015. – № 1(17). – С. 38–46.
6. *Брызгалов И. А., Кривицкая Н. Н.* Особенности состава минералов серебра системы Ag-Pb-Bi-Te-S месторождения Валунистое (Северо-Восток России) // Роль минералогии в развитии минерально-сырьевой базы благородных металлов и алмазов XXI века. – М. : ИГЕМ РАН, 1998. – С. 28–30.
7. *Волков А. В., Галямов А. Л., Сидоров А. А.* Перспективы развития добычи золота в Чукотском автономном округе // Арктика: экология и экономика. – 2017. – № 4 (28). – С. 83–97.
8. *Волков А. В., Гончаров В. И., Сидоров А. А.* Месторождения золота и серебра Чукотки. – Магадан : СВКНИИ ДВО РАН, 2006. – 221 с.
9. *Волков А. В., Прокофьев В. Ю., Винокуров С. Ф.* [и др.] Эпитермальное Au-Ag месторождение Валунистое (Восточная Чукотка, Россия): геологическое строение, минералого-геохимические особенности и условия рудообразования // Геология рудных месторождений. – 2020. – Т. 62, № 2. – С. 107–113.
10. *Волков А. В., Прокофьев В. Ю., Савва Н. Е.* [и др.] Рудообразование на Au-Ag месторождении Купол, по данным изучения флюидных включений (Северо-Восток России) // Геология рудных месторождений. – 2012. – Т. 54, № 4. – С. 350–359.
11. *Волков А. В., Прокофьев В. Ю., Сидоров А. А.* [и др.] Условия формирования эпитермальной Au-Ag минерализации Амгуэмо-Канчаланского вулканического поля (Восточная Чукотка) // Вулканология и сейсмология. – 2019. – № 5. – С. 68–80.
12. *Волков А. В., Савва Н. Е., Колова Е. Е.* [и др.] Au-Ag эпитермальное месторождение Двойное (Чукотка) // Геология рудных месторождений. – 2018. – Т. 60, № 6. – С. 590–609.
13. *Гермаханов А. А., Черных А. И., Танин Е. В., Казанов О. В., Бурдин Д. Б.* Новые горизонты. Минерально-сырьевой потенциал Чукотского автономного округа // Недропользование XXI век. – 2023. – № 3–4 (100). – С. 8–14.
14. *Голдырев В. Н.* Минералого-геохимическая и прогнозно-поисковая модели золото-серебряного оруденения Валунистого рудного района (Восточная Чукотка) : специальность 1.6.10. «Геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения» : автореф. дис. на соискание учён. степ. канд. геол.-минерал. наук / Виталий Николаевич Голдырев. – Новосибирск : ИГМ СО РАН, 2024. – 27 с.
15. *Голдырев В. Н.* Серебро-сульфидно-полиметаллическая стадия минералообразования Амгуэмо-Канчаланской металлогенической зоны (Центральная Чукотка) // Геология в развивающемся мире : сборник научных трудов по материалам XVI Междунар. научно-практ. конф. – Пермь, 2023. – С. 20–25.
16. *Голдырев В. Н., Осовецкий Б. М., Наумов В. А.* Золотоносные эксплозивные брекчии месторождения Жильное (Чукотка) // Металлогения древних и современных океанов. – 2022. – Т. 28. – С. 129–133.
17. *Голдырев В. Н., Осовецкий Б. М., Наумов В. А., Артемьев А. Л., Заводов А. В.* Пирит эпитермального Au-Ag месторождения Жильное (Чукотский АО): морфология, стадийность образования, продукты преобразования // Отечественная геология. – 2023. – № 3. – С. 42–56.
18. *Дьяконов В. В.* Фанерозойские палеовулканические сооружения и рудная минерализация медно-молибден-порфирирового типа : специальность 25.00.11 «Геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения» : автореф. дис. на соискание учён. степ. докт. геол.-минерал. наук / Виктор Васильевич Дьяконов. – М. : Рос. ун-т дружбы народов, 2011. – 50 с.
19. *Елманов А. А., Прокофьев В. Ю., Волков А. В., Сидоров А. А., Воскресенский К. И.* Первые данные об условиях формирования Ag-Ag эпитермальной минерализации месторождения Жильное (Восточная Чукотка) Россия // ДАН. – 2018. – Т. 480, № 6. – С. 693–697.

20. Журавкова Т. В., Пальянова Г. А., Калинин Ю. А., Горячев Н. А., Зинина В. Ю. Физико-химические условия образования минеральных парагенезисов золота и серебра на месторождении Валунистое (Чукотка) // Геология и геофизика. – 2019. – Т. 60, № 11. – С. 1565–1576.
21. Кравцова Р. Г. Геохимия и условия формирования золото-серебряных рудно-магматических систем северного Приохотья : специальность 25.00.09 «Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых» : автореф. дис. на соискание учён. степ. докт. геол.-минерал. наук / Раиса Григорьевна Кравцова. – Иркутск : Ин-т геохимии, 2005. – 23 с.
22. Кравцова Р. Г., Таусон В. Л., Пальянова Г. А., Макшаков А. С., Павлова Л. А. Особенности состава самородного серебра золото-серебряного месторождения Роговик (Северо-Восток России) // Геология рудных месторождений. – 2017. – Т. 59, № 5. – С. 385–400. – DOI : 10.7868/S0016777017050045.
23. Кузнецов Ю. А., Дубков А. А., Калинин В. Н., Жабин А. В., Варфоломеев С. Д. Исследования микроформ кристаллических соединений благородных металлов в золоторудных месторождениях Евразии // Недра Поволжья и Прикаспия. – 2023. – № 111. – С. 27–37.
24. Машковцев Г. А., Спорыхина Л. В., Быховский Л. З. Состояние, перспективы использования и развития сырьевой базы твердых полезных ископаемых Арктической зоны России // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. – 2019. – № 3. – С. 34–45.
25. Новоселов К. А., Котляров В. А., Белогуб Е. В. Сульфоселенид серебра из руд Валунистого золото-серебряного месторождения (Чукотка) // Зап. РМО. – 2009. – Ч. 138, Вып. 6. – С. 56–61.
26. Пальянова Г. А. Минералы золота и серебра в сульфидных рудах // Геология рудных месторождений. – 2020. – Т. 62, № 5. – С. 426–449.
27. Петренко И. Д. Золото-серебряная формация Камчатки : специальность 25.00.11 «Геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения» : автореф. дис. на соискание учён. степ. докт. геол.-минерал. наук / Игорь Диамидович Петренко. – Петропавловск-Камчатский : ЦНИГРИ, 2004. – 25 с.
28. Петровская Н. В. Самородное золото. – М. : Наука, 1973. – 347 с.
29. Полин В. Ф. Петрология контрастной серии Амгуэмо-Канчаланского вулканического поля Чукотки. – Владивосток : ДВО АН СССР, 1990. – 228 с.
30. Русанов Р. В., Янникова Ю. Ю., Янникова Л. Ю. Платиноносность Au-Ag формации на примере месторождения Валунистое (Чукотский автономный округ) // Вестник Воронеж. гос. ун-та. Серия Геол. – 2019. – № 4. – С. 71–78.
31. Савва Н. Е. Минералогия серебра Северо-Востока России // СВК-НИИ ДВО РАН. – М. : Изд-во «Триумф», 2018. – 544 с.
32. Савва Н. Е., Колова Е. Е., Фомина М. И. [и др.] Золото-полиметаллическое оруденение в эксплозивных брекчиях: минералого-генетические аспекты (месторождение Сентябрьское, СВ, Чукотка) // Вестник СВНЦ ДВО РАН. – 2016. – № 1. – С. 16–36.
33. Савва Н. Е., Пальянова Г. А., Бянкин М. А. К проблеме генезиса сульфидов и селенидов золота и серебра на месторождении Купол (Чукотка, Россия) // Геология и геофизика. – 2012. – Т. 53 (5). – С. 597–609.
34. Сергиевский А. П. Геология Кайемравеемского рудного узла и условия локализации золото-серебряного оруденения: специальность 25.00.11 «Геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения» : автореф. дис. на соискание учён. степ. канд. геол.-минерал. наук / Александр Петрович Сергиевский. – М. : Рос. ун-т дружбы народов (РУДН), 2006. – 27 с.
35. Сидоров А. А. Золото-серебряная формация Восточно-Азиатских вулканогенных поясов. – Магадан : СВКНИИ ДВНЦ АН СССР, 1978. – 85 с.
36. Сидоров А. А., Сидоров В. А., Волков А. В. Золотоносные эксплозивные брекчии штока Ванин – новый тип оруденения на Северо-Востоке России // ДАН. – 2010. – Т. 435, № 6. – С. 780–785.
37. Стружков С. Ф., Константинов М. М. Металлогения золота и серебра Охотско-Чукотского вулканогенного пояса. – М. : Научный мир, 2005. – 320 с.
38. Тихомиров П. Л. Меловой окраинно-континентальный магматизм Северо-Востока Азии и вопросы генезиса крупнейших фанерозойских провинций кремнекислого вулканизма. – М. : ГЕОС, 2020. – 376 с.
39. Хомич В. Г., Иванов В. В., Фатьянов В. В. Типизация золото-серебряного оруденения. – Владивосток : ДВО АН СССР, 1989. – 289 с.
40. Bodnar R. J., Lecumberri-Sanchez P., Moncada D., Steele-MacInnes P. Fluid Inclusions in Hydrothermal Ore Deposits // Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences. Treatise on Geochemistry / 2nd Edition. Amsterdam; San Diego, CA. – USA : Elsevier, 2014. – P. 119–142.
41. Buchanan L. Precious metal deposits associated with volcanic environments in the Southwest // Ariz Geol Soc Dig XIV. – 1981. – P. 237–262.
42. Hedenquist J. W., Browne P. R., Allis R. G. Epithermal gold mineralization. – Wairakei, New Zeland. – 1988. – 169 p.
43. Hedenquist J. W., Lowenstern J. B. The role of magmas in the formation of hydrothermal ore-deposits // Nature. – 370. – 1994. – P. 519–527.
44. Sowkins F. J. Metal Deposits in Relation to Plate Tectonics. 2-d Revised. – Berlin : Springer Verlag, 1990. – 461 p.

REFERENCES

1. *Belyy V. F.* Geologiya Okhotsko-Chukotskogo vulkanogenogo poyasa [Geology of the Okhotsk-Chukotka volcanogenic belt], Magadan, SVKNII DVO RAN publ., 1994, 76 p. (In Russ.)
2. *Belyayeva T. V.* Usloviya obrazovaniya khalkogenidov serebra na epitermalnykh mestorozhdeniyakh severovostoka Rossii [Conditions of formation of silver chalcogenides at epithermal deposits of northeastern Russia], Novosibirsk, FGAOU VO NGU publ., 2022, 136 p. (In Russ.)
3. *Belyayeva T. V., Palyanova G. A.* Sulfidy i selenidy serebra v rudakh Au–Ag epitermalnykh mestorozhdeniy Okhotsko-Chukotskogo vulkanogen-nogo poyasa [Silver sulfides and selenides in ores of Au–Ag epithermal deposits of the Okhotsk-Chukotka volcanogenic belt], *Geologiya rudnykh mestorozhdeniy*, 2023, V. 65, No. 1, pp. 74–108. (In Russ.)
4. *Bortnikov N. S., Volkov A. V., Savva N. Ye., Prokofyev V. Yu., Kolova Ye. Ye., Dolmanova-Topol A. A., Murashov K. Yu.* Epitermalnyye Au-Ag-Te-Se mestorozhdeniya Chukotki (arkticheskaya zona Rossii): metallogeniya, mineralnyye paragenezisy, flyuidnyy rezhim [Epithermal Au-Ag-Te-Se deposits of Chukotka (Arctic zone of Russia): metallogeny, mineral parageneses, fluid regime], *Geologiya i geofizika*, 2022, V. 63 (4), pp. 522–549. (In Russ.)
5. *Bortnikov N. S., Lobanov K. V., Volkov A. V., Galyamov A. L., Murashov K. Yu.* Arkticheskiye resursy tsvet-nykh i blagorodnykh metallov v globalnoy perspektive [Arctic resources of non-ferrous and precious metals in a global perspective], *Arktika: ekologiya i ekonomika*, 2015, No. 1(17), pp. 38–46. (In Russ.)
6. *Bryzgalov I. A., Krivitskaya N. N.* Osobnosti sostava mineralov serebra sistemy Ag-Pb-Bi-Te-S mestorozhdeniya Valunistoye (Severo-Vostok Rossii) [Features of the composition of silver minerals of the Ag-Pb-Bi-Te-S system of the Valunistoye deposit (North-East of Russia)], *Rol mineralogii v razvitii mineralno-syryevoy bazy blagorodnykh metallov i almazov XXI veka*, Moscow, IGM RAN publ., 1998, pp. 28–30. (In Russ.)
7. *Volkov A. V., Galyamov A. L., Sidorov A. A.* Perspektivy razvitiya dobychi zolota v Chukotskom avtonomnom okruge [Prospects for the Development of Gold Mining in the Chukotka Autonomous Okrug], *Arktika: ekologiya i ekonomika*, 2017, No. 4 (28), pp. 83–97. (In Russ.)
8. *Volkov A. V., Goncharov V. I., Sidorov A. A.* Mestorozhdeniya zolota i serebra Chukotki [Gold and silver deposits of Chukotka], Magadan, SVKNII DVO RAN publ., 2006, 221 p. (In Russ.)
9. *Volkov A. V., Prokofyev V. Yu., Vinokurov S. F.* [et al.] Epitermalnoye Au-Ag mestorozhdeniya Valunistoye (Vostochnaya Chukotka, Rossiya): geologicheskoye stroeniye, mineralogo-geokhimicheskiye osobennosti i usloviya rudoobrazovaniya [Epithermal Au-Ag deposit Valunistoye (Eastern Chukotka, Russia): geological structure, mineralogical and geochemical features and ore formation conditions], *Geologiya rudnykh mestorozhdeniy*, 2020, V. 62. No. 2, pp. 107–113. (In Russ.)
10. *Volkov A. V., Prokofyev V. Yu., Savva N. Ye.* [et al.] Rudoobrazovaniye na Au-Ag mestorozhdenii Kupol, po dannym izucheniya flyuidnykh vlyucheniye (Severo-Vostok Rossii) [Ore formation at the Kupol Au-Ag deposit, based on fluid inclusion studies (North-East Russia)], *Geologiya rudnykh mestorozhdeniy*, 2012, V. 54, No. 4, pp. 350–359. (In Russ.)
11. *Volkov A. V., Prokofyev V. Yu., Sidorov A. A.* [et al.] Usloviya formirovaniya epitermalnoy Au-Ag mineralizatsii Amguemo-Kanchalanskogo vulkanicheskogo polya (Vostochnaya Chukotka) [Conditions of formation of epithermal Au-Ag mineralization of the Amguemo-Kanchalan volcanic field (Eastern Chukotka)], *Vulkanologiya i seysmologiya*, 2019, No. 5, pp. 68–80. (In Russ.)
12. *Volkov A. V., Savva N. Ye., Kolova Ye. Ye.* [et al.] Au-Ag epitermalnoye mestorozhdeniye Dvoynoye (Chukotka) [Au-Ag epithermal deposit Dvoynoye (Chukotka)], *Geologiya rudnykh mestorozhdeniy*, 2018, V. 60, No. 6, pp. 590–609. (In Russ.)
13. *Germakhanov A. A., Chernykh A. I., Tanin Ye. V., Kazanov O. V., Burdin D. B.* Novyye gorizonty. Mineralno-syryevoy potentsial Chukotskogo avtonomnogo okruga [New Horizons. Mineral Resource Potential of the Chukotka Autonomous Okrug], *Nedropolzovaniye XXI vek*, 2023, No. 3–4 (100), pp. 8–14. (In Russ.)
14. *Goldzyrev V. N.* Mineralogo-geokhimicheskaya i prognozno-poiskovaya modeli zoloto-serebryanogo orudneniya Valunistogo rudnogo rayona (Vostochnaya Chukotka) [Mineralogical-geochemical and forecast-search models of gold-silver mineralization of the Valunisty ore region (Eastern Chukotka)], Novosibirsk, IGM SO RAN publ., 2024, 27 p. (In Russ.)
15. *Goldzyrev V. N.* Srebro-sulfidno-polimetallicheskaya stadiya mineraloobrazovaniya Amguemo-Kanchalanskoy metallogenicheskoy zony (Tsentralnaya Chukotka) [Silver-sulfide-polymetallic stage of mineral formation of the Amguemo-Kanchalan metallogenic zone (Central Chukotka)], *Geologiya v razvivayushchemsya mire, sbornik nauchnykh trudov po materialam XVI Mezhdunar. nauchno-prakt. konf*, Perm, 2023, pp. 20–25. (In Russ.)
16. *Goldzyrev V. N., Osovetkiy B. M., Naumov V. A.* Zolotonosnyye eksplozivnyye brekchii mestorozhdeniya Zhilnoye (Chukotka) [Gold-bearing explosive breccias of the Zhilnoye deposit (Chukotka)],

- Metallogeniya drevnikh i sovremennykh okeanov, 2022, V. 28, pp. 129–133. (In Russ.)
17. *Goldyrev V. N., Osovetskiy B. M., Naumov V. A., Artemov A. L., Zavodov A. V.* Pirit epitermalnogo Au-Ag mestorozhdeniya Zhilnoye (Chukotskiy AO): morfologiya, stadiynost obrazovaniya, produkty preobrazovaniya [Pyrite of the epithermal Au-Ag deposit Zhilnoye (Chukotka Autonomous Okrug): morphology, stages of formation, transformation products], *Otechestvennaya geologiya*, 2023, No. 3, pp. 42–56. (In Russ.)
 18. *Dyakonov V. V.* Fanerozoyskiye paleovulkanicheskiye sooruzheniya i rudnaya mineralizatsiya mednomolibden-porfirovogo tipa [Phanerozoic paleovolcanic structures and ore mineralization of the copper-molybdenum-porphyry type], Moscow, Ros. un-t družby narodov publ., 2011, 50 p. (In Russ.)
 19. *Yelmanov A. A., Prokofyev V. Yu., Volkov A. V., Sidorov A. A., Voskresenskiy K. I.* Pervyye dannyye ob usloviyakh formirovaniya Ag-Ag epitermalnoy mineralizatsii mestorozhdeniya Zhilnoye (Vostochnaya Chukotka) Rossiya [First data on the conditions of formation of Ag-Ag epithermal mineralization of the Zhilnoye deposit (Eastern Chukotka) Russia], *DAN*, 2018, V. 480, No. 6, pp. 693–697. (In Russ.)
 20. *Zhuravkova T. V., Palyanova G. A., Kalinin Yu. A., Goryachev N. A., Zinina V. Yu.* Fiziko-khimicheskiye usloviya obrazovaniya mineralnykh paragenezisov zolota i serebra na mestorozhdenii Valunistoye (Chukotka) [Physicochemical conditions of formation of mineral parageneses of gold and silver at the Valunistoye deposit (Chukotka)], *Geologiya i geofizika*, 2019, V. 60, No. 11, pp. 1565–1576. (In Russ.)
 21. *Kravtsova R. G.* Geokhimiya i usloviya formirovaniya zoloto-serebryanykh rudno-magmaticheskikh sistem severnogo Priokhotya [Geochemistry and conditions of formation of gold-silver ore-magmatic systems of the northern Priokhotye region], *Irkutsk, In-t geokhimii publ.*, 2005, 23 p. (In Russ.)
 22. *Kravtsova R. G., Tauson V. L., Palyanova G. A., Makshakov A. S., Pavlova L. A.* Osobennosti sostava samorodnogo serebra zoloto-serebryanogo mestorozhdeniya Rogovik (Severo-Vostok Rossii) [Features of the composition of native silver of the Rogovik gold-silver deposit (North-East of Russia)], *Geologiya rudnykh mestorozhdeniy*, 2017, V. 59, No. 5, pp. 385–400, DOI: 10.7868/S0016777017050045. (In Russ.)
 23. *Kuznetsov Yu. A., Dubkov A. A., Kalinichenko V. N., Zhabin A. V., Varfolomeyev S. D.* Issledovaniya mikroform kristallicheskih soyedineniy blagorodnykh metallov v zolorudnykh mestorozhdeniyakh Yevrazii [Studies of microforms of crystalline compounds of noble metals in gold ore deposits of Eurasia], *Nedra Povolzhya i Prikaspiya*, 2023, No. 111, pp. 27–37. (In Russ.)
 24. *Mashkovtsev G. A., Sporykhina L. V., Bykhovskiy L. Z.* Sostoyaniye, perspektivy ispolzovaniya i razvitiya syryevoy bazy tverdykh poleznykh iskopayemykh Arkticheskoy zony Rossii [Status, Prospects for Use and Development of the Raw Material Base of Solid Minerals in the Arctic Zone of Russia], *Mineralnyye resursy Rossii. Ekonomika i upravleniye*, 2019, No. 3, pp. 34–45. (In Russ.)
 25. *Novoselov K. A., Kotlyarov V. A., Belogub Ye. V.* Sulfoselenid serebra iz rud Valunistogo zoloto-serebryanogo mestorozhdeniya (Chukotka) [Silver sulfoselenide from the ores of the Valunistoye gold-silver deposit (Chukotka)], *Zap. RMO*, 2009, Pt. 138, Is. 6, pp. 56–61. (In Russ.)
 26. *Palyanova G. A.* Mineraly zolota i serebra v sulfidnykh rudakh [Gold and silver minerals in sulfide ores], *Geologiya rudnykh mestorozhdeniy*, 2020, V. 62, No. 5, pp. 426–449. (In Russ.)
 27. *Petrenko I. D.* Zoloto-serebryanaya formatsiya Kamchatki [Gold-silver formation of Kamchatka], *Petropavlovsk-Kamchatskiy, TSNIIGRI publ.*, 2004, 25 p. (In Russ.)
 28. *Petrovskaya N. V.* Samorodnoye zoloto [Native gold], Moscow, Nauka publ., 1973, 347 p. (In Russ.)
 29. *Polin V. F.* Petrologiya kontrastnoy serii Amguemo-Kanchalanskogo vulkanicheskogo polya Chukotki [Petrology of the contrast series of the Amguemo-Kanchalan volcanic field of Chukotka], *Vladivostok, DVO AN SSSR publ.*, 1990, 228 p. (In Russ.)
 30. *Rusanov R. V., Yannikova Yu. Yu., Yannikova L. Yu.* Platinonosnost Au-Ag formatsii na primere mestorozhdeniya Valunistoye (Chukotskiy avtonomnyy okrug) [Platinum-bearing Au-Ag formation on the example of the Valunistoye deposit (Chukotka Autonomous Okrug)], *Vestnik Voronezh. gos. un-ta. Seriya Geol*, 2019, No. 4, pp. 71–78. (In Russ.)
 31. *Savva N. Ye.* Mineralogiya serebra Severo-Vostoka Rossii [Mineralogy of silver in the North-East of Russia], *SVK-NII DVO RAN, Moscow, Triumph publ.*, 2018, 544 p. (In Russ.)
 32. *Savva N. Ye., Kolova Ye. Ye., Fomina M. I.* [et al.] Zoloto-polimetallicheskiye orudneniye v eksplozivnykh brekchiyakh: mineralogo-geneticheskiye aspekty (mestorozhdeniye Sentyabrskoye, SV, Chukotka) [Gold-polymetallic mineralization in explosive breccias: mineralogical and genetic aspects (Sentyabrskoye deposit, NE, Chukotka)], *Vestnik SVNTS DVO RAN*, 2016, No. 1, pp. 16–36. (In Russ.)
 33. *Savva N. E., Palyanova G. A., Byankin M. A.* K probleme genezisa sulfidov i selenidov zolota i serebra na mestorozhdenii Kupol (Chukotka, Rossiya) [On the problem of genesis of gold and silver sulfides and selenides at the Kupol deposit (Chukotka, Russia)], *Geologiya i geofizika*, 2012, V. 53 (5), pp. 597–609. (In Russ.)
 34. *Sergiyevskiy A. P.* Geologiya Kayyemraveyemskogo rudnogo uzla i usloviya lokalizatsii zoloto-serebryanogo orudneniya [Geology of the Kayemraveem ore

- cluster and conditions of localization of gold-silver mineralization], Moscow, Ros. un-t druzhby narodov (RUDN) publ., 2006, 27 p. (In Russ.)
35. *Sidorov A. A.* Zoloto-serebryanaya formatsiya Vostochno-Aziatskikh vulkanogennykh poyasov [Gold-silver formation of the East Asian volcanic belts], Magadan, SVKNII DVNTS AN SSSR publ., 1978, 85 p. (In Russ.)
 36. *Sidorov A. A., Sidorov V. A., Volkov A. V.* Zolotonosnyye eksplozivnyye brekchii shtoka Vanin – novyy tip orudneniya na Severo-Vostoke Rossii [Gold-bearing explosive breccias of the Vanin stock – a new type of mineralization in the North-East of Russia], DAN, 2010, V. 435, No. 6, pp. 780–785. (In Russ.)
 37. *Struzhkov S. F., Konstantinov M. M.* Metallogeniya zolota i srebra Okhotsko-Chukotskogo vulkanogenogo poyasa [Metallogeny of gold and silver of the Okhotsk-Chukotka volcanogenic belt], Moscow, Nauchnyy mir publ., 2005, 320 p. (In Russ.)
 38. *Tikhomirov P. L.* Melovoy okrainno-kontinentalnyy magmatizm Severo-Vostoka Azii i voprosy genezisa krupneyshikh fanerozoyskikh provintsiy kremnekislogo vulkanizma [Cretaceous continental margin magmatism of Northeast Asia and issues of the genesis of the largest Phanerozoic provinces of silicic volcanism], Moscow, GEOS publ., 2020, 376 p. (In Russ.)
 39. *Khomich V. G., Ivanov V. V., Fatyanov V. V.* Tipizatsiya zoloto-serebryanogo orudneniya [Typification of gold-silver mineralization], Vladivostok, DVO AN SSSR publ., 1989, 289 p. (In Russ.)
 40. *Bodnar R. J., Lecumberri-Sanchez P., Moncada D., Steele-MacInnes P.* Fluid Inclusions in Hydrothermal Ore Deposits, Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences. Treatise on Geochemistry, 2nd Edition. Amsterdam; San Diego, CA, USA, Elsevier, 2014, pp. 119–142.
 41. *Buchanan L.* Precious metal deposits associated with volcanic environments in the Southwest, Ariz Geol Soc Dig XIV, 1981, pp. 237–262.
 42. *Hedenquist J. W., Browne P. R., Allis R. G.* Epithermal gold mineralization, Wairakei, New Zeland, 1988, 169 p.
 43. *Hedenquist J. W., Lowenstern J. B.* The role of magmas in the formation of hydrothermal ore-deposits, Nature, 370, 1994, pp. 519–527.
 44. *Sowkins F. J.* Metal Deposits in Relation to Plate Tectonics. 2-d Revised, Berlin, Springer Verlag, 1990, 461 p.

Статья поступила в редакцию 11.11.25; одобрена после рецензирования 24.11.25; принята к публикации 24.11.25.
The article was submitted 11.11.25; approved after reviewing 24.11.25; accepted for publication 24.11.25.

Тектоническая позиция и возможные геодинамические обстановки формирования вулcano-плутонических поясов с медно-порфировыми месторождениями

Аннотация. Медно-порфировые месторождения сосредоточены в вулcano-плутонических поясах (ВПП) – базальтоидных (БВПП) и андезитoidных (АВПП). Первые из них представляют собой самостоятельные элементы островных дуг и нередко образуют их барьерные зоны. Они сложены породами толеитовой и натриевой известково-щелочной серий и могут быть разделены на океанические, периокеанические и внутриконтинентальные рифтогенные. С вулcano-плутоническими ассоциациями (ВПА) поясов первого и второго типов связаны Au-Cu-порфировые объекты со сравнительно высокими содержаниями Cu и Au в рудах, с ВПА третьего – Cu-порфировые с низкими концентрациями Cu, Au и Mo. Океанические и периокеанические БВПП формируются над конвергентными границами литосферных плит в надсубдукционных обстановках. Рифтогенные БВПП, примером которых являются пояса Уральской провинции, образуются во внутриконтинентальных рифтах и располагаются над базальтоидными прогибами или на их «плечах».

Андезитoidные ВПП представляют собой линейные протяжённые окраинно- и внутриконтинентальные геоструктуры, образовавшиеся на субстрате различного состава и возраста в орогенно-активизационном режиме. Для них характерен K-Na, Na-K и существенно K профиль магматизма (известково-щелочной, субщелочной, щелочной серий) и широкий спектр рудных месторождений, включая Cu-Mo-, Au-Mo-Cu- и Au-(Mo)-Cu-порфировые. АВПП сопряжены в своём развитии с островными дугами, от которых их отделяют тыловые (задуговые) прогибы с осадочным или вулканогенно-осадочным заполнением.

Анализ палеотектонической позиции АВПП в латеральных рядах глобальных геоструктур – окраинно-, меж- и внутриконтинентальных подвижных поясов показал, что в своём развитии они находятся в закономерной пространственно-временной связи с элементами строения и эволюции этих геоструктур. При этом АВПП располагаются в окраинно-континентальных обстановках либо на микроконтинентах и возникают после коллизионных и аккреционных событий, фиксирующих завершение существования подвижных поясов. Линейная конфигурация и значительная протяжённость АВПП скорее всего обусловлена положением зон субдукции.

Специфическую позицию занимают АВПП Тибетского орогена. Их формирование произошло вне связи с другими геоструктурами подвижного пояса – при постколлизионном растяжении земной коры и апвеллинге астеносферы (пояс Гангдезе) или за счёт астеносферных диапиров в зонах подвижных границ плит (сутур) в постколлизионный и субдукционный этапы при проявлении масштабных сдвиговых деформаций (пояс Юлонг-Айляошань).

Ключевые слова: медно-порфировые месторождения, вулcano-плутонические пояса океанические, периокеанические, рифтовые, базальтоидные, андезитoidные, коллизия, субдукция, астеносферные диапиры, окраинно- и внутриконтинентальные геодинамические обстановки, подвижные пояса, сутуры.

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

ЗВЕЗДОВ ВАДИМ СТАНИСЛАВОВИЧ, доктор геолого-минералогических наук, начальник отдела, zvezdov@tsnigri.ru

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

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

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

Tectonic position and possible geodynamic settings of formation of volcano-plutonic belts with porphyry copper mineralization

I. F. MIGACHEV, V. S. ZVEZDOV, V. D. KONKIN, D. A. KULIKOV

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

Abstract. Porphyry copper deposits are related to volcano-plutonic belts (VPB), the basaltoid and andesitoid ones. The basaltoid VPB (BVPB) represent individual elements of island arcs and often make up their barrier zones. They are composed of the tholeiitic and sodium calc-alkaline series rocks and may be subdivided into the oceanic, perioceanic, and intraoceanic riftogenic types. Volcano-plutonic associations (VPA) of the belts of the first and second types are associated with Au-Cu porphyry deposits with relatively high Cu and Au grades in their ores, while VPA of the third type are associated with Cu-porphyry deposits with low concentrations of Cu, Au, and Mo. The oceanic and perioceanic BVPB form above convergent plate boundaries in suprasubduction settings. The riftogenic BVPB, exemplified by VPB of the Ural Province, form in intracontinental rifts and are located above basaltoid troughs or on their "shoulders".

The andesitoid VPB (AVPB) represent linear, extended marginal and intracontinental geostructures formed on substrates of various composition and age in the orogenic reactivation regime. They are characterized by K-Na, Na-K, and substantially K magmatic profiles (of the calc-alkaline, subalkaline, and alkaline petrologic series) and by a wide range of ore deposits, including Cu-Mo, Au-Mo-Cu, and Au-(Mo)-Cu porphyries. AVPB are associated in their development with island arcs, from which they are separated by back-arc basins with sedimentary or volcanosedimentary infills. Similar basins can also be located in the back of AVPB, separating them from areas with a platform-type development regime.

Analysis of the paleotectonic position of AVPB along the lateral structural rows within the global geostructures, such as the marginal, inter-, and intracontinental mobile belts, has demonstrated a regular spatiotemporal relationship of the belts with the structural and evolutionary elements of these geostructures. AVPB are located in continental marginal settings or on microcontinents and appear after collisional and accretionary events that mark the end of existence of the mobile belts. The linear configuration and significant extent of AVPB are most likely determined by location of the subduction zones.

The AVPB of the Tibetan Orogen take a unique position. They formed independently of other geostructures of the mobile belt, during the post-collisional crustal stretching and asthenosphere upwelling (Gangdese belt) or due to asthenospheric diapirs in zones of mobile plate boundaries (sutures) in the post-collisional and subduction stages during large-scale shear deformations (Yulong-Ailaoshan belt).

Key words: porphyry copper deposits, oceanic, perioceanic, rift, basaltoid, andesitoid volcano-plutonic belts, collision, subduction, asthenospheric diapirs, marginal and intracontinental geodynamic settings, mobile belts, sutures.

Автором термина «вулкано-плутонические пояса» может считаться Е. К. Устиев. В его работах по Северо-Востоку России было показано, что в определённых геотектонических обстановках вулканогенные и плутоногенные геологические формации образуют устойчивые пространственно-временные сообщества – вулкано-плутонические ассоциации. Последние формируют самостоятельные, специфические геоструктурные элементы – вулкано-плутонические пояса, которые закономерно сочетаются с другими тектоническими элементами подвижных поясов.

К сожалению, в последние годы ранее оформившиеся представления о позиции и природе вулкано-плутонических поясов стали «размываться» вследствие недостаточно строгих терминологических и методических подходов. В ряде публикаций вместо понятия вулкано-плутонические используются термины вулканические и вулканогенные пояса, что влечёт за собой избыточно расширительные интерпретации. В некоторых работах в качестве ВПП рассматриваются зоны развития платформенных трапповых и некоторых других вулкано-плутонических ассоциаций, что лишает

соответствующие геотектонические и металлогенические построения необходимой строгости и приводит к избыточным противоречиям.

С другой стороны, сами вулкано-плутонические пояса нередко обозначаются достаточно противоречивыми терминами – активная окраина, магматическая дуга, вулканическая дуга, что также не способствует однозначности восприятия соответствующих описаний.

А. И. Кривцовым с соавторами было показано, что в целом медно-порфировые месторождения мира при прожилково-вкрапленном характере руд и однотипности набора основных рудообразующих компонентов отчётливо различаются по целому ряду признаков, которые отражают обстановки рудообразования [2, 4].

Месторождения медно-порфирового семейства располагаются в геоструктурах двух типов – в базальтоидных ВПП, входящих в состав островодужных структур, и в андезитоидных ВПП (АВПП), формирующихся в орогенно-активизационном режиме в подвижных поясах на субстрате, различном по составу и времени образования.

Базальтоидные ВПП с Au-Cu- и Cu-порфировыми месторождениями представляют собой элементы энсиматических островных дуг (ОД), развивавшихся на океанической коре при субдукционных, рифтогенных и сопровождающих их магматических процессах. Такие пояса сложены в основном породами толеитовой и известково-щелочной серий натриевого профиля. По геотектонической позиции, строению и составу магматических комплексов эти пояса могут быть разделены на океанические и периокеанические над-субдукционные и рифтовые [7].

С вулкано-плутоническими ассоциациями, слагающими островодужные ВПП первых двух обстановок, генетически связаны Au-Cu-порфировые и сопряжённые с ними в объёме единых систем скарновые и эпитеpmальные месторождения цветных и благородных металлов. Руды Au-Cu-порфировых объектов характеризуются повышенной золотоносностью, довольно высокими содержаниями Cu при практически полном отсутствии Mo. С ВПА рифтогенных базальтоидных поясов ассоциируют Cu-порфировые объекты с низкими содержаниями Cu, Au и Mo.

К *океаническим* отнесены островодужные ВПП, сформированные непосредственно над конвергентными границами литосферных плит. Вулкано-плутонические ассоциации, участвующие в

их строении, составлены базальт-андезит-дацитовый и габбро-диорит-тоналитовой формациями. Завершающие порфировые фазы рудоносной существенно натриевой плутоногенной формации представлены порфировидными диоритами, кварцевыми диоритами, диоритовыми порфиридами. Руды медно-порфировых месторождений (МПП) обладают повышенными содержаниями Au при аномально низких Mo. Ярким примером являются пять разновозрастных (от раннего мела до плейстоцена) поясов островной дуги Санда (Восточная Зондская дуга, Индонезия) на границе Евразийской и Индо-Австралийской плит, протягивающейся на 1800 км в широтном направлении от о. Ява на западе до островов Сумбава, Флорес и Банда на востоке. Они состоят из отдельных вулкано-плутонических центров с Au-Cu-порфировыми месторождениями и сопряжёнными Au-Cu-скарновыми и эпитеpmальными Au-Cu и Au-Ag объектами типов «высокой» (HS), «средней» (IS) и «низкой» (LS) сульфидизации.

К *периокеаническим* относится большинство базальтоидных ВПП с месторождениями Au-Cu-порфирового типа. Такие пояса возникают при субдукции океанической коры под континентальную и располагаются в пеокеанических островодужных структурах (между фронтальными прогибами, примыкающими к желобам, и внутренними (тыловыми) зонами островодужного пространства), нередко представляя собой их внешние барьерные зоны. Здесь проявлен известково-щелочной магматизм натриевого профиля. ВПА, продуктивная на Au-Cu-порфировые руды (с высокими содержаниями Au), представлена базальт-андезит-базальтовой и габбро-диорит-кварцево-диоритовой формациями с рудоносными фазами кварцевых диоритовых порфиритов и плагиогранит-порфиров.

Примером являются базальтоидные ВПП Филиппинского архипелага на границе Евразийской и Филиппинской плит, принадлежащие к так называемому Филиппинскому Мобильному поясу, протягивающемуся в меридиональном направлении от о. Лусон на севере до о. Минданао на юге. Рудоносные магматические формации этих поясов возникали несколько раз во временном интервале от раннего мела до плейстоцена, отражая цикличность островодужного магматизма, но во всех случаях они представлены породами натриевой известково-щелочной серии – диоритами-кварцевыми диоритами с порфировыми фаза-

ми того же состава и их излившимися аналогами. Ещё один пример подобных ВПП в Юго-Восточной Азии – пояса Новобританской (месторождения Плесиуми, Эсис и Кулу) и Соломоновой (Пангуна, Колуола) островных дуг на границе Индо-Австралийской и Тихоокеанской плит.

К этому же periокеаническому типу относятся базальтоидные ВПП Прибрежного минералогического пояса запада Аляски, находящиеся над зонами субдукции вблизи границы Северо-Американской и Тихоокеанской плит. Расположенные в их пределах МПМ (Костелло Крик, Грабстейк, Ипдиан Пасс Лейк, Баумтофф и др.), по данным В. Холлистера, С. Анчалоне, Д. Рихтера [11], сопряжены с массивами диоритов, рогово-обманковых диоритов, реже гранатсодержащих диоритов, которые входят в состав раннетриасовых, раннеюрских, позднеюрско-раннемеловых и третичных островодужных ВПА, вулканогенная часть которых представлена базальтами, андезитобазальтами и андезитами.

Периокеанические базальтоидные пояса с Au-Cu-порфиоровыми объектами также выделены в структурах Алеутской (Островной ВПП с месторождениями Пирамид, Драй Крик), Центрально-Американской (Панама – Рио Пинто, Патикан, Наваганди) и Антильской (Пуэрто-Рико, Ямайка – Рио Виви, Танама, Ла Му да, Коппер Майн Пойнт) островных дуг на границе Южно- и Северо-Американской литосферных плит [2].

Палеотектоническая позиция океанических и периокеанических островных дуг и входящих в их состав базальтоидных ВПП с Au-Cu-порфиоровыми месторождениями в определённой степени сходны. Все вышеназванные ОД с поясами этого типа приурочены к конвергентным границам литосферных плит, занимают надсубдукционную позицию и являются производными базитовых магматических очагов океанической ЗК. Вместе с тем ВПП океанических ОД отличаются большей протяжённостью, линейной формой и отчасти строением в сравнении с периокеаническими [7].

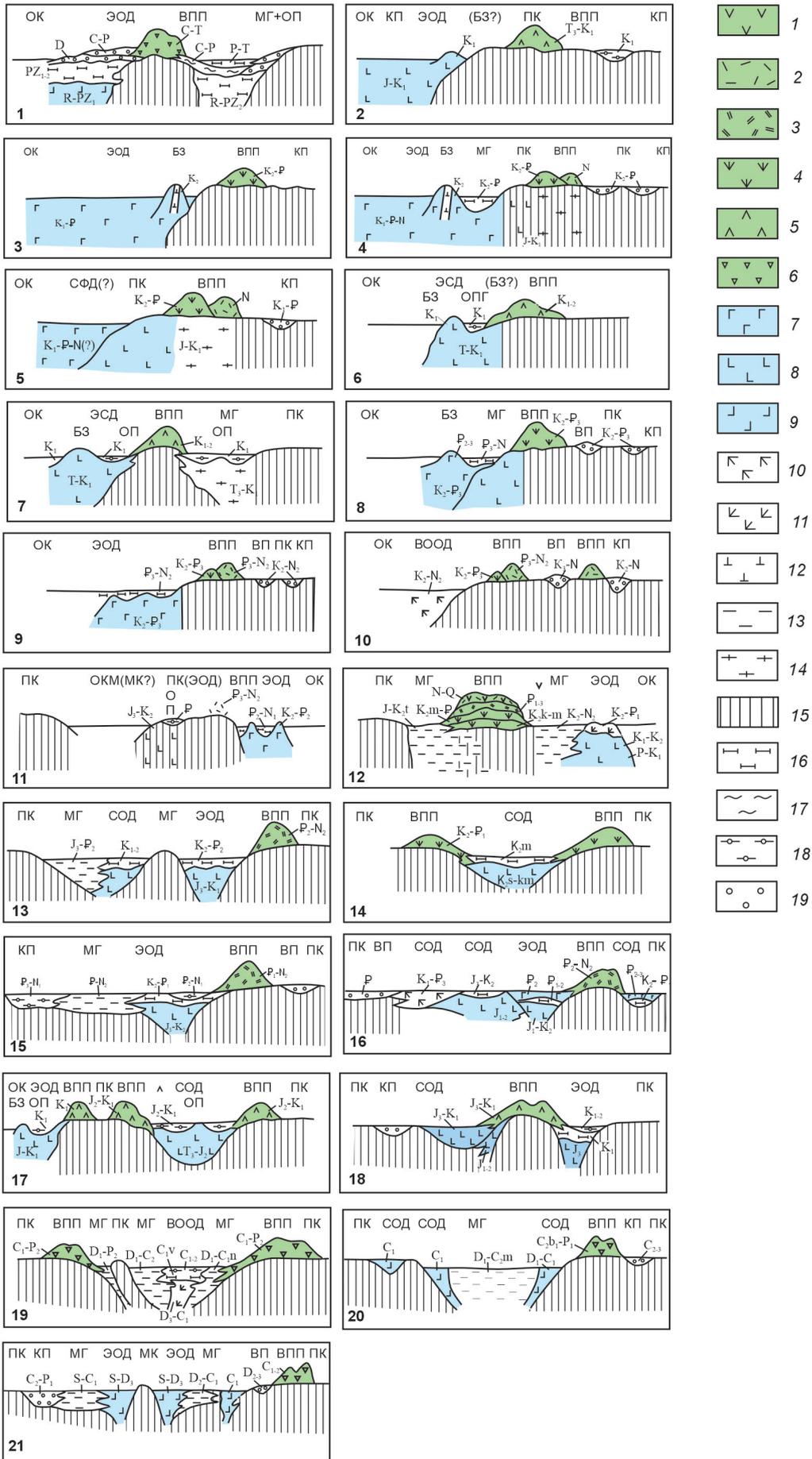
В принципиально иной палеотектонической обстановке формируются рифтогенные базальтоидные ВПП с медно-порфиоровыми и скарново-медно-порфиоровыми объектами Уральской металлогенической провинции. Во внутриконтинентальных океанических рифтах глубокого заложения такие пояса – Ирендыкский (месторождения Салаватское, Вознесенское, Круглогор-

ское), Новоалексеевский (Гумешевское), Верхнеуральский (одноимённое), Именновский (Воскресенское), Малоуральский (Новогоднее-Монто) – располагаются как непосредственно над претерпевшими орогенную инверсию базальтоидными прогибами, так и на их флангах («плечах»). Продуктивная на медно-порфиоровые руды ВПА завершает натриевые серии базальтоидного магматизма и сменяет во времени однородную базальтовую и дифференцированные колчеданоносные контрастную и непрерывную формации. Вулканогенная часть ВПА представлена базальт-андезитобазальтовой или андезитобазальт-андезитовой формациями, плутоногенная – габбро-диорит-плагиогранитовой и габбро-диорит-тоналит (гранодиорит)-плагиогранитовой. Руды МПМ характеризуются малыми содержаниями Au и Mo.

К этому же типу геоструктур с определённой степенью условности, можно отнести Кони-Тайгоносскую (Удско-Мургальскую) раздвиговошовную (рифтогенную) зону, отделяющую Охотоморскую литосферную плиту от Азиатского континента. По существу, она представляет собой своеобразную структуру островодужного типа [5]. В её пределах с позднего палеозоя по неоконформировались островодужные комплексы – вулканогенные и вулканогенно-терригенные базальт-андезитовые (Т-J₂ и J₃-K₁), базальтовые и габбро-гранодиорит-тоналит-плагиогранитные (K₁), участвующие в строении одноимённого ВПП. На них в позднемеловое время были наложены формации андезитовидного Охотско-Чукотского пояса.

В юго-западном сегменте Удско-Мургальского ВПП (на Кони-Пьягинском полуострове) известны несколько медно-порфиоровых проявлений – Лора (наиболее крупное), Прямой, Икрумунское, Викинг, Антара, Тальниковое I и II и другие, которые ассоциируют с порфиоровыми фазами диорит-гранодиорит-тоналитовых интрузивов. В Северо-Западном (Чукотском) отрезке этого пояса с интрузивными массивами той же формации сопряжены медно-порфиоровые проявления Базовое и Моренное. Все названные рудопроявления характеризуются низкими содержаниями Cu и Mo при практическом отсутствии Au.

В истории развития ОД в первых двух обстановках базальтоидные ВПП с Au-Cu-порфиоровыми месторождениями, в том числе крупными, образовывались несколько раз в течение длительных временных интервалов, что отражает цикличность островодужного магматизма.



В третьей, рифтогенной, базальтоидные пояса возникали однократно. Здесь формировались преимущественно мелкие Cu-порфировые объекты с убогими содержаниями металлов, что, вероятно, можно объяснить истощением потенциала рудоносных магматических очагов – продуцентов предшествующих медноколчеданных месторождений [7].

Андезитоидные ВПП представляют собой линейные протяжённые окраинно- и внутриконтинентальные геоструктуры, образовавшиеся на субстрате различного состава и возраста в орогенно-активизационном режиме. Для них характерен К-Na, Na-K и существенно К профиль магматизма (известково-щелочной, субщелочной, щелочной серий) и широкий спектр рудных месторождений, включая Cu-Mo-, Au-Mo-Cu- и Au-(Mo)-Cu-порфировые. Под термином «андезитоидные ВПП», введённом в свое время А. И. Кривцовым [2], понимаются области распространения ВПА преимущественно андезитодиорит-гранодиоритового и трахиандезитового-монзонитового профиля.

Вулкано-плутонические пояса представляют собой единые по происхождению и геотектонической позиции геоструктуры, достаточно широко распространённые на фанерозойском отрезке истории Земли.

Очевидные различия в позициях Южно- и Северо-Американских ВПП привели многих исследователей к выводу о существовании андийского (собственно окраинно-континентального) и неандийского (фактически внутриконтинентального) стилия формирования поясов. Внутриконтинентальную позицию занимает и ряд палеозойских вулкано-плутонических поясов на территории Средней Азии и России.

Исходя из реально наблюдаемых соотношений геоструктур с различными режимами развития и используя принцип актуализма, упомянутые и другие исследователи показали, что вулкано-плутонические пояса занимают окраинно-континентальное (периокеаническое) положение и сопряжены в своём развитии с островными дугами, от которых их отделяют тыловые (задуговые) прогибы с осадочным или вулканоосадочным заполнением. В свою очередь подобные прогибы могут располагаться и в тылу вулкано-плутонических поясов, отделяя их от областей с собственно платформенным (кратонным) режимом развития.

Таким образом, обоснована сопряжённость различных геоструктур в виде пространственно-временных латеральных рядов в рамках отдельных тектоно-магматических циклов (ТМЦ). В поли-

Рис. 1. Позиции андезитоидных ВПП в латеральных геоструктурных рядах подвижных поясов (упрощённая схема). По [6]:

подвижные пояса (ПП) и области (ПО), вулкано-плутонические пояса: 1–12 – окраинно-континентальные ПП: 1–5 – Андийский ПП, ВПП: 1 – палеозойский, 2 – юрско-раннемеловой, 3 – поздне-меловой-палеогеновый (Панама), 4 – поздне-меловой-палеогеновый и неогеновый (Колумбийско-Эквадорский сегмент), 5 – поздне-меловой-палеогеновый и неогеновый (Боливийско-Перуанский и Чилийско-Аргентинский сегменты), 6–10 – Кордильерский ПП, ВПП: 6–7 – поздне-меловой: 6 – Аляскинский и 7 – Мексиканский сегменты, 8 – раннемеловой-палеогеновый, 9–10 – палеоген-неогеновый; Олюторско-Камчатская ПО: 11 – Центрально-Камчатский ВПП; Сихотэ-Алинская–Сахалино-Хоккайдская ПО: 12 – Сихотэ-Алинский ВПП; 13–16 – межконтинентальный ПП Тетис, ВПП: 13 – Сербско-Македонский, 14 – Среднегорская зона, 15 – Центрально-Иранский и 16 – Закавказский; 17–21 – внутриконтинентальные ПП и ПО: Кордильерский ПП: 17 – мезозойский ВПП (Уайтхорст-Нечако); Алазейско-Олойская ПО: 18 – Курьинский ВПП; Джунгаро-Балхашская ПО: 19 – Балхашско-Илийский ВПП; Южно-Тянь-Шанская ПО: 20 – Бельтау-Кураминский ВПП; Уральский ПП: 21 – Валерьяновский ВПП; вулкано-плутонические пояса: 1 – неоген-четвертичные, 2 – неогеновые, 3 – палеоген-неогеновые, 4 – поздне-меловые-палеогеновые, 5 – триасово-юрские, юрские и юрско-раннемеловые, 6 – верхнепалеозойские (каменноугольно-пермские); 7–9 – энсиматические и энсиалические островодужные структуры: 7 – мел-палеогеновые, 8 – юрско-меловые, 9 – палеозойские; 10–11 – вулканоосадочные энсиалические островодужные структуры: 10 – поздне-меловые-палеогеновые (-неогеновые), 11 – триасово-юрско-меловые; 12 – интрузивные зоны барьерных зон энсиматических островодужных структур; 13 – миогеосинклинали различного возраста; 14 – мезозойско-кайнозойские миогеосинклинали окраинно-континентальных ПП; 15 – консолидированные блоки с континентальной корой; 16–19 – формации и формационные комплексы: 16 – флишевые и флишиодные, 17 – нижнемолассовые, 18 – нижне-верхнемолассовые, 19 – верхнемолассовые; ЭОД – энсиматическая островодужная структура, БЗ – барьерные островных дуг, СОД – энсиалическая островодужная структура, ВООД – вулканоосадочная энсиалическая островодужная структура, МГ – миогеосинклиналь, ОП – остаточные прогибы островодужных структур, ПК – палеоконтиненты, МК – микроконтиненты (срединные массивы), КП – краевые прогибы, ВП – внутренние прогибы, ВПП – вулкано-плутонические пояса, ОК – океан, ОКМ – окраинные моря

циклических подвижных или тектонических поясах (ПП) геоструктурные ряды поздних тектономагматических циклов обнаруживают латеральное смещение относительно более ранних, что приводит к пространственному совмещению разнотипных и разновременных геоструктур.

В целях конкретизации палеотектонической позиции андезитовидных вулканоплутонических поясов (АВПП) было рассмотрено строение подвижных поясов, областей и систем окраинно-, меж- и внутриконтинентальных типов [6]. Фактографической основой послужили составленные автором формационные ряды, структурно-тектонические и структурно-формационные карты и схемы масштаба 1 : 5 000 000 (Северная и Южная Америки, Тетис-Евразийский пояс), 1 : 1 000 000 (Юг Урала, Джунгария, Южный Тянь-Шань). Кроме того, были привлечены материалы по вулканоплутоническим поясам Забайкалья и Приамурья, Алтае-Саянской области, Киргизии, севера и юга Монгольской Народной Республики, Панагюрского района Народной Республики Болгария.

На результирующей схеме (рис. 1) показаны палеотектонические позиции вулканоплутонических поясов в латеральных геоструктурных рядах различных ПП.

В полициклических окраинно-континентальных подвижных поясах АВПП, обладая резко выраженной линейной формой, формируются на краю континента и в зоне его шельфа (см. рис. 1, позиции 1–12). Чаще они непосредственно примыкают к островным дугам (см. рис. 1, позиции 2, 3, 5, 8–11), реже отделяются от них миогеосинклинальными прогибами окраинных морей (см. рис. 1, позиции 4, 6, 12). Типовой латеральный геоструктурный ряд выглядит следующим образом: океан – жёлоб – энсиматическая островная дуга с барьерной зоной – (миогеосинклиналь окраинного моря) – АВПП в краевой части континента – краевой прогиб. Некоторые пояса (рис. 1, позиции 1 и 7) развиваются на микроконтинентах. Для таких обстановок характерен следующий ряд геоструктур: океан – жёлоб – энсиматическая островная дуга – микроконтинент с АВПП – миогеосинклиналь окраинных морей – палеоконтинент.

Формирование геоструктурных рядов начинается с образования островных дуг, которые представляют собой наиболее длительно развивающиеся их элементы. Как правило, андезитовидные

вулканоплутонические пояса обладают меньшей длительностью существования и начинают формироваться после заложения островных дуг или одновременно с накоплением в последних пород базальтовой, спилит-диабазовой, вулканогенно-кремнисто-сланцевой формаций (см. рис. 1, позиции 2–5, 8, 10) или позже во время отложения флишеидных комплексов (см. рис. 1, позиции 9, 11, 12). Реже АВПП начинают развиваться после замыкания островных дуг, когда в их пределах существуют остаточные прогибы, выполненные ниже-верхне-моцассовыми отложениями (см. рис. 1, позиции 1, 6, 7).

Миогеосинклинали и краевые прогибы обычно обладают более длительным периодом развития, чем андезитовидные вулканоплутонические пояса, но более кратким по отношению к островным дугам. Вместе с тем образование миогеосинклиналей начинается, как правило, позже островных дуг, но раньше поясов, а краевые прогибы субсинхронны или островным дугам, или АВПП.

Наиболее крупные Сербо-Македонский и Центрально-Иранский линейные андезитовидные пояса межконтинентального Тетис-Евразийского подвижного пояса формируются на краю палеоконтинентов на «плечах» островных дуг и входят в следующий геоструктурный ряд: палеоконтинент – передовой прогиб – миогеосинклиналь – (микроконтинент) – энсиматическая островная дуга – ВПП на краю палеоконтинента – тыловой прогиб (см. рис. 1, позиции 13, 15). Палеотектоническая позиция сравнительно небольших позднемиоценовых-палеогеновых, палеогеновых и неогеновых вулканоплутонических поясов Карпато-Балканской области – Среднегорского (см. рис. 1, позиция 14), Тимакского, Банатского, Апусени-Металлифери, Внутренне-Карпатского – определяется их симметричными или асимметричными положениями в структурах рамы протяжённых энсиматических островных дуг с «накатом» на консолидированные блоки последних.

Во всех перечисленных случаях время образования поясов начинается после заложения островных дуг, когда в пределах последних завершается накопление флиша или уже существуют остаточные ниже-верхнемоцассовые бассейны. Тыловые и передовые прогибы обычно синхронны поясам, а миогеосинклинали – островным дугам или АВПП. Островные дуги и часть миогеосинклиналей завершают своё развитие рань-

ше андезитовидных поясов, тыловых и передовых прогибов.

В отличие от большинства вулканоплутонических поясов Тетиса Закавказский пояс развивается на микроконтиненте, окружённом островодужными структурами (см. рис. 1, позиция 16). Формирование пояса происходило одновременно с накоплением флишевых толщ в Аджаро-Триалетской и вулканитов в Еревано-Ордубадской зонах, в момент инверсии Севано-Акеринской островной дуги. Развитие пояса продолжалось после замыкания всех островных дуг.

Внутриконтинентальные подвижные пояса по латерали ограничены краевыми частями палеоконтинентов, на которых (включая континентальный склон) в качестве пограничных геоструктур формируются вулканоплутонические пояса или краевые прогибы (см. рис. 1, позиции 17–21). В зависимости от конфигурации ПП (линейные или мозаичные, по Г. М. Власову) вулканоплутонические пояса обладают или прямолинейной (см. рис. 1, позиции 20, 21), или подковообразной формой (см. рис. 1, позиции 17, 19). В последнем случае они как бы окаймляют островодужное пространство и в поперечном разрезе ПП выглядят как симметрично расположенные ВПП.

Вулканоплутонические пояса расположены или в тылу островных дуг (см. рис. 1, позиции 20, 21) или отделены от них миогеосинклинальными прогибами (см. рис. 1, позиция 19). Латеральные геоструктурные ряды достаточно просты, но разнообразны:

1. ВПП на палеоконтиненте – миогеосинклиналь – островная дуга – миогеосинклиналь – ВПП на палеоконтиненте – тыловой прогиб (см. рис. 1, позиция 19).

2. Палеоконтинент – островная дуга – миогеосинклиналь – островная дуга – палеоконтинент с ВПП – тыловой прогиб (см. рис. 1, позиция 20).

3. Передовой прогиб – миогеосинклиналь – срединный массив (островная дуга предшествующего ТМЦ) – миогеосинклиналь – островная дуга – внутренний прогиб на палеоконтиненте – ВПП – палеоконтинент (см. рис. 1, позиция 21).

4. ВПП на палеоконтиненте – островная дуга – ВПП на палеоконтиненте (см. рис. 1, позиция 17).

Длительность существования островных дуг и миогеосинклиналей заметно превышает время формирования АВПП того же цикла, которым в

первом приближении субсинхронны передовые и краевые прогибы. Во всех случаях образование вулканоплутонических поясов «запаздывает» по отношению к островным дугам и происходит после их инверсии во время существования в их пределах остаточных прогибов.

Следовательно, тектоническая позиция АВПП определяется их принадлежностью к подвижным поясам или их сегментам, в качестве самостоятельных геоструктурных элементов, находящихся в закономерной пространственно-временной связи с другими геоструктурами ПП. При этом АВПП располагаются в окраинно-континентальных обстановках или на микроконтинентах.

Таким образом, окраинно- и внутриконтинентальные АВПП завершают развитие подвижных поясов или их сегментов. При этом слагающие их породы слабо дислоцированы или совсем не подвержены складчатости и метаморфическим преобразованиям. АВПП формируются после коллизионных и постаккреционных событий, фиксирующих окончание существования подвижных поясов. Вместе с тем их линейная конфигурация и значительная протяжённость, скорее всего, обусловлены взаимосвязью АВПП с различными элементами зон субдукции. Подобная взаимосвязь, её причины и последствия широко обсуждались многими исследователями [1, 9] и концентрированно изложены в известной монографии В. Е. Хаина и М. Г. Ломизе [10] (рис. 2).

В частности, скорее всего породы погружающегося слэба провоцируют (являются триггерным механизмом) образование первичных магм, которые затем в виде флюидно-магматических колонн (клиньев или апвелинга астеносферы) проникают в верхние части земной коры. При этом такие колонны по мере их продвижения могут фракционировать с образованием промежуточных магматических очагов, а в конечном итоге рудно-магматических на их самом верхнем уровне.

Следует отметить, что механизм и условия формирования первичных магм за счёт взаимодействия субдукционных вещественных комплексов с мантией, астеносферой и корой продолжают широко обсуждаться.

При этом в ВПП на континентальной коре, как отмечает Т. Н. Фролова [9], господствуют андезиты и кислые породы известково-щелочной серии андезит-дацит-диоритгранодиоритового ряда. В то же время в АВПП с медно-порфировыми

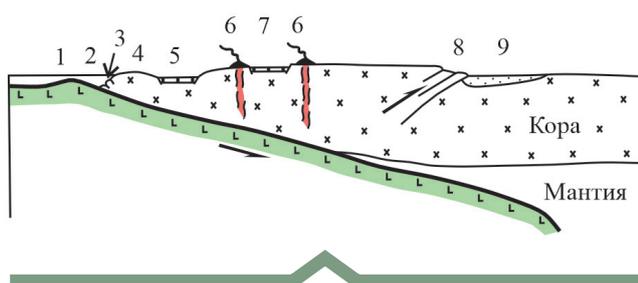


Рис. 2. Схема латеральных структурных рядов Андской окраины. По [10], с дополнением:

1 – краевой вал; 2 – глубоководный жёлоб; 3 – аккреционная призма; 4 – подводная терраса или береговой хребет; 5 – продольная долина; 6 – главный вулканический хребет; 7 – рифтогенная впадина; 8 – тыловая система взбросо-надвиговых деформаций; 9 – тыловый предгорный прогиб

ми месторождениями кроме рудоносных пород адакитовых серий достаточно широко развиты вулканоплутонические ассоциации трахиандезитов-диорит-монцититов-монцититов. Так из трёхсот учтённых месторождений в восьмидесяти семи рудоносными являются образования монцититового ряда.

Существование первичных андезитовидных магм почти не вызывает сомнений. Среди существующих моделей петрогенезиса андезитовидных магм наиболее полно сумме геофизических, петрохимических, геохимических и изотопных данных отвечает гипотеза, выдвинутая Р. Торпом, П. Поттсом и П. Франсисом, учитывающая схему А. Рингвуда и основанная на изучении андезитовидного магматизма Анд. Согласно этим авторам, андезитовые магмы представляют собой результат сложного взаимодействия процессов парциального плавления, фракционной кристаллизации и контаминации на мантийных глубинах, а также контаминации и фракционной кристаллизации в коре. Эта гипотеза не противоречит возможности возникновения промежуточных рудогенерирующих очагов андезитового состава в нижних и средних частях коры при прохождении через неё магматической колонны.

В то же время представления о монцититовидных магмах дискутируются довольно длительное время. Преобладало предположение о контаминации, гибридном и смешении магм при участии как мантийных, так и коровых компонентов, латеральной неоднородности плавящейся ман-

тии [9, 10]. Наряду с этим существует представление о возможности отнесения монцититовидных пород к шошонитовым сериям. В этом случае все образования монцититового состава АВПП считаются производным первичной шошонитовой магмы [8].

Специфическую тектоническую позицию занимают ВПП в Тибетском орогене (террейн Лхаса) (рис. 3). Здесь присутствует ВПП Гангдесе с месторождениями Au-Mo-Cu типа, которые сформировались как орогенные системы, возникшие в результате мезозойского столкновения континентов Индии и Азии, закрытия океана Тетис и последующими коллизионными и аккреционными процессами [8, 12, 13, 14]. Здесь проявлялись три тектонических и металлогенических этапа [8]: 1) конвергентной коллизии (65–41 млн лет); 2) позднеколлизионной трансформной окраины 40–26 млн лет; 3) постколлизионного растяжения (~ 25–0 млн лет). С последним этапом связано формирование большинства крупных Mo-Cu-порфировых систем. Cu-порфировые месторождения концентрируются в ВПП Гангдесе, который сформировался в 2 этапа [13]: палеоцен-эоценовый, когда образовались три мелких Mo-Cu-порфировых месторождения (49,2–62,4 млн лет). Этот магматизм и рудообразование отражают заключительную стадию субдукции океанической литосферы под южным Тибетом (рис. 4). Подавляющее большинство, в том числе сверхкрупных, медно-порфировых месторождений ВПП Гангдесе сформировалось во второй олигоцен-миоценовый этап в процессе постколлизионного растяжения и апвеллинга астеносферы (астеносферный диапир) (см. рис. 4). Рудоносный магматизм обоих этапов представлен интрузивами монцититового состава и аналогичными им по составу вулканогенными образованиями.

Близкую тектоническую позицию занимает ВПП Юлонг и Айляошань (скорее всего, это единый ВПП) в Тибете (см. рисунки 3, 5). ВПП образовался в постколлизионный этап (46–35 млн лет) при развитии сдвиговых деформаций планетарного масштаба, контролируемых сутурной границей между Индокитайской плитой и Южно-Китайской платформой.

Магматические породы и МПМ образовались при внедрении магмы в докембрийские кристаллические породы, перекрытые верхнепалеозойскими морскими осадками и мезозойскими карбонатными и обломочными породами [3, 8]. Рудоносный интрузивный комплекс представлен мон-

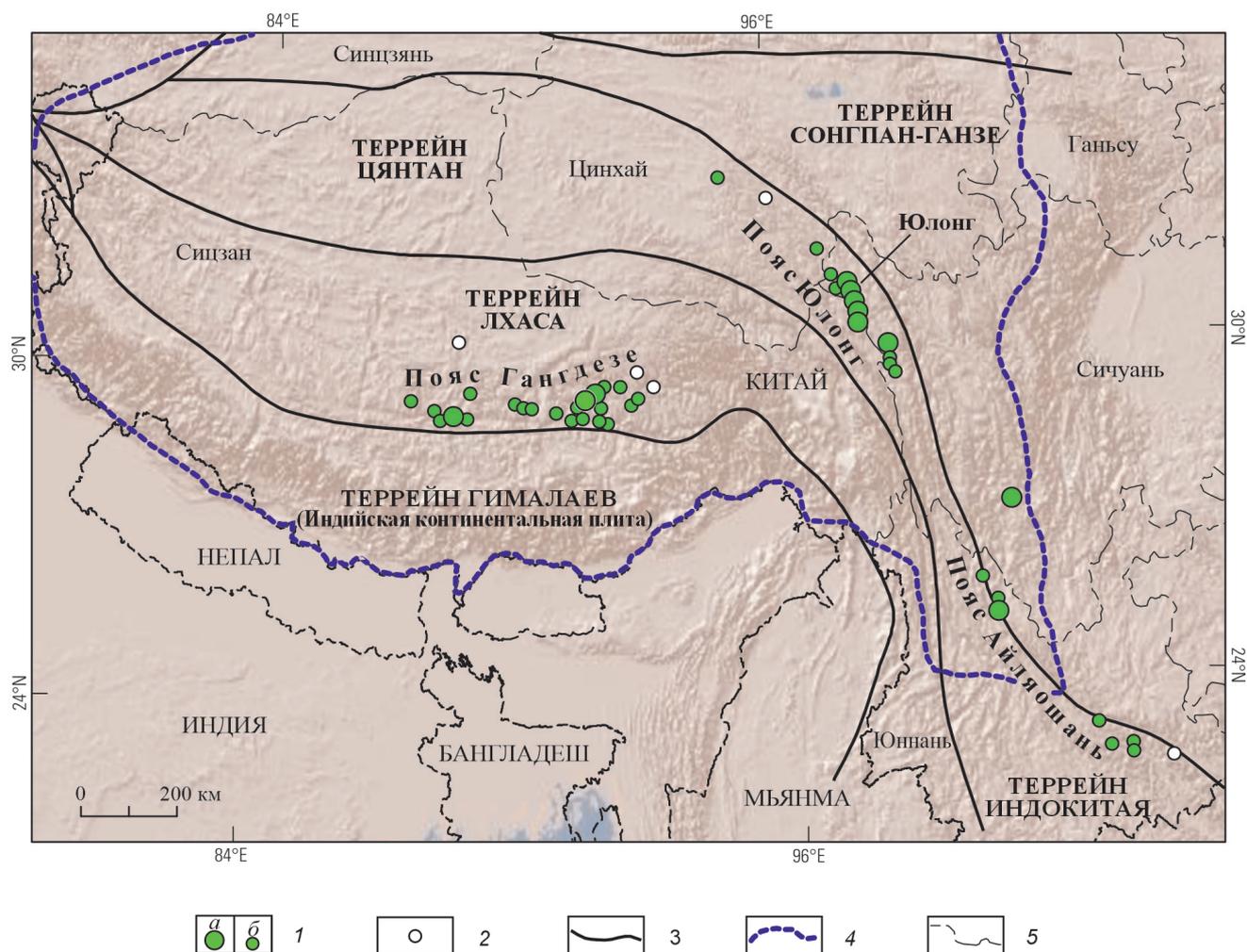


Рис. 3. Карта, на которой показаны террейны, ограничивающие их разломы и швы Тибетского плато. По [12]:

1 – медно-порфировые: месторождения (а) и проявления (б); 2 – прочие проявления; 3 – сутурные швы и другие разломы; 4 – граница Тибетского плато; 5 – границы провинций Китая

цогранодиорит-порфирами более щелочными, чем в ВПП Гангдесе. Известны пять основных месторождений с Мо-Си составом руд. Причиной образования ВПП служит подъём астеносферы (диапир) в корнях крупных сквозькоровых разломов.

В целом образование ВПП произошло вне связи с другими структурными элементами ПП. Они формировались за счёт астеносферных диапиров в зонах подвижных (сутурных) границ плит в постколлизийный и субдукционный этапы на фоне развития крупных сдвиговых деформаций.

Выводы:

1. МПП принадлежат самостоятельным геоструктурам – вулcano-плутоническим поясам базальтоидных и андезитоидных типов.

2. Базальтоидные ВПП входят в состав островных дуг, нередко образуя их барьерные зоны, что определяет их геотектоническую позицию. Вместе с тем островные дуги, включая периокеанические и океанические БВПП с МПП, занимают надсубдукционную позицию и приурочены к конвергентным границам литосферных плит. Рифто-

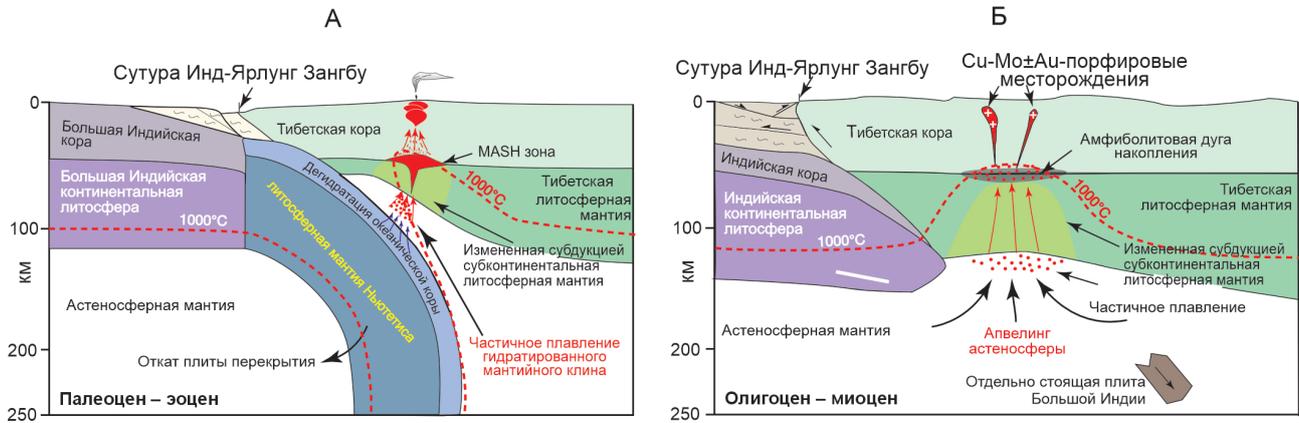


Рис. 4. Мультипликационные поперечные разрезы, иллюстрирующие предполагаемый петрогенезис кайнозойских магматических пород в Гангдесском поясе:

А – Гангдесская континентальная дуга: палеоцен-эоценовый магматизм был вызван откатом слэба Ньютетиса и образовался в результате частичного плавления гидратированного мантийного клина (MASH = плавление, ассимиляция, накопление и гомогенизация); Б – миоценовый магматизм был вызван отколом слэба Большой Индии и подъёмом астеносферных расплавов и образовался в результате частичного плавления модифицированной субдукции тибетской литосферы. Порфировые Cu-Mo-Au месторождения образовались из гидросодержащих магм при внедрении в верхние слои земной коры; глубины залегания Мохо, границы индийской литосферы с астеносферой и тибетской границы литосферы с астеносферой были оценены на основе сейсмических исследований [12]

генные БВПП Уральской провинции образуются во внутриконтинентальных океанических рифтах глубокого заложения над претерпевшими орогенную инверсию базальтоидными прогибами или на их флангах («плечах»).

3. Андезитоидные ВПП представляют собой протяжённые линейные окраинно- и внутриконтинентальные геоструктуры. Они закономерно пространственно и во времени сопряжены с другими геоструктурными элементами подвижных или тектонических поясов, образуя с ними пространственно-временные латеральные ряды, что характеризует их тектоническую позицию. ВПП завершают развитие подвижных поясов или их сегментов и образуются после завершения коллизионных и аккреционных событий. Скорее всего, их формирование связано с развитием различ-

ных элементов зон субдукции, которые провоцируют образование первичных магматических очагов различного состава.

4. Специфическую тектоническую позицию занимают ВПП Тибетского орогена, формирующиеся вне латеральных геоструктурных рядов, после мезозойского столкновения Индии и Азии, закрытия океана Тетис и последующих коллизионных и аккреционных процессов. Крупные медно-порфировые месторождения ВПП Гангдесе сформировались в процессе постколлизионного растяжения и апвеллинга астеносферы. ВПП Юлонг и Айляошань сформировались несколько ранее, но тоже в постколлизионной обстановке в результате подъёма астеносферы в корнях крупных сквозькоровых разломов в пределах подвижных границ плит (сутуры).

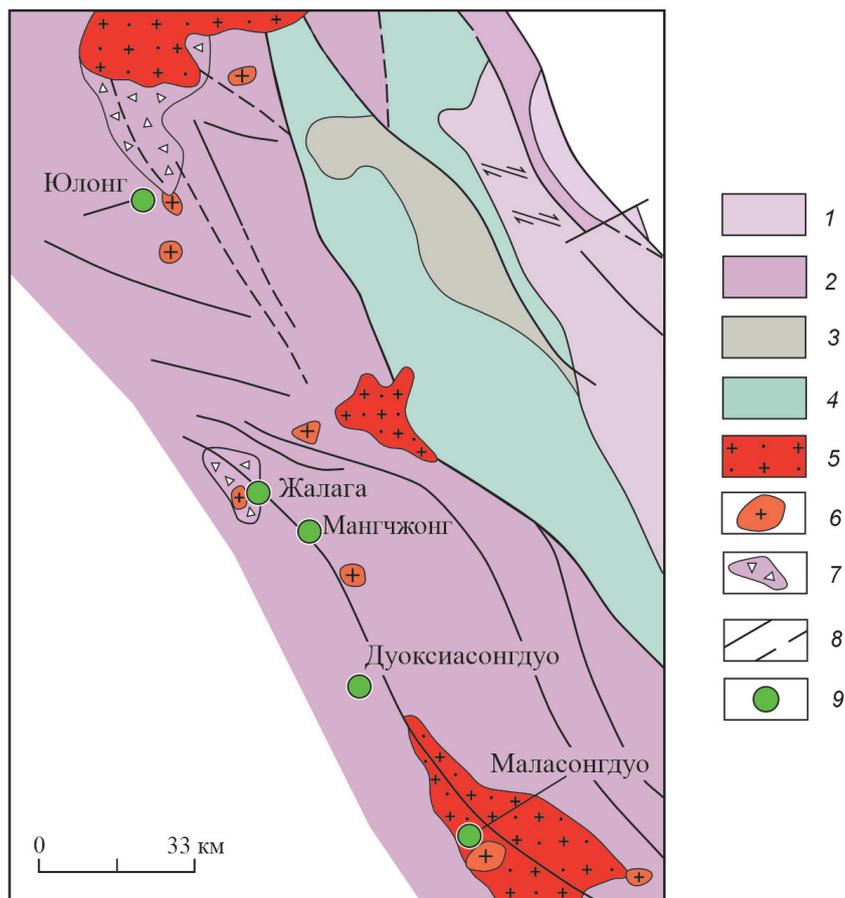


Рис. 5. Размещение медно-порфировых месторождений группы Юлонг. По [3]:

нижнетриасовые: 1 – песчаники, сланцы и 2 – пестроцветные песчаники, известняки; 3 – каменноугольно-пермские глинисто-карбонатные и вулканогенные отложения; 4 – нижнеордовикские песчаники, сланцы, мрамора; 5 – яньшанские гранитоиды; 6 – гималайские гранитоиды; 7 – брекчиевые тела; 8 – разломы; 9 – месторождения

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Короновский Н. В., Демина Л. И. Магматизм как индикатор геодинамических обстановок. – М. : КДУ, 2011. – 234 с.
2. Кривцов А. И. Геологические основы прогнозирования и поисков медно-порфировых месторождений. – М. : Недра, 1938. – 255 с.
3. Кривцов А. И. Металлогения андезитовых вулканоплутонических поясов. – М. : Геокарт, ГЕОС, 2007. – 587 с.
4. Кривцов А. И., Звездов В. С., Мигачёв И. Ф., Минина О. В. Медно-порфировые месторождения. Сер. Модели месторождений цветных и благородных металлов. – М. : ЦНИГРИ, 2001. – 232 с.
5. Мигачёв И. Ф. Палеотектоническая позиция мезозойских вулканоплутонических поясов востока России // Отечественная геология. – 2009. – № 4. – С. 18–29.
6. Мигачёв И. Ф. Положение андезитовидных вулканоплутонических поясов в латеральных геоструктурных рядах // Отечественная геология. – 2014. – № 6. – С. 3–11.
7. Мигачёв И. Ф., Звездов В. С., Конкин В. Д. Палеотектоническая позиция базальтоидных вулканоплутонических поясов с медно-порфировыми месторождениями // Руды и металлы. – 2024. – № 3. – С. 28–46.

8. Соловьев С. Г. Металлогения шохонитового магматизма. – Т. I. – М. : Научный мир, 2014. – 528 с.
9. Фролова Т. И., Буриков И. А. Магматические формации современных геотектонических обстановок. – М. : Изд-во МГУ, 1997. – 320 с.
10. Хаин В. Е., Ломизе М. Г. Геотектоника с основами геодинамики. – М. : КДУ, 2010. – 560 с.
11. Hollister V. F., Anzalone S. A., Richter D. H. Porphyry copper deposits of southern Alaska and contiguous Yukon Territory // Can. Min. and Met. Bull. – 1975. – V. 68, № 756. – P. 104–112.
12. Ludington S., Hammarstrom J. M., Robinson G. R. [et. al.] Porphyry Copper Assessment of the Tibetan Plateau, China // Scientific Investigations Report 2010–5090–F. – 2010. – 73 p.
13. Wang R., Richards J. P., Hou Z. [et. al.] Magmatic water content – the key to oligo-miocene porphyry Cu-Mo ± Au formation in the eastern Gangdese belt, Tibet // Economic Geology. – 2014. – V. 109, № 5. – P. 1315–1339.
14. Yin A., Harrison T. M. Geologic evolution of the Himalayan-Tibetan orogen // Annual Review of Earth and Planetary Sciences. – 2000. – V. 28, № 1. – pp. 211–280.

REFERENCES

1. Koronovskiy N. V., Demina L. I. Magmatizm kak indikator geodinamicheskikh obstanovok [Magmatism as an indicator of geodynamic conditions], Moscow, KDU publ., 2011, 234 p. (In Russ.)
2. Krivtsov A. I. Geologicheskiye osnovy prognozirovaniya i poiskov medno-porfirovykh mestorozhdeniy [Geological foundations of forecasting and prospecting for copper-porphyry deposits], Moscow, Nedra publ., 1983, 255 p. (In Russ.)
3. Krivtsov A. I. Metallogeniya andezitovykh vulkano-plutonicheskikh pojasov [Metallogeny of andesite volcano-plutonic belts], Moscow, Geokart, GEOS publ., 2007, 587 p. (In Russ.)
4. Krivtsov A. I., Zvezdov V. S., Migachev I. F., Minina O. V. Medno-porfirovyeye mestorozhdeniya. Ser. Modeli mestorozhdeniy tsvetnykh i blagorodnykh metallov [Copper-porphyry deposits. Series: Models of deposits of non-ferrous and noble metals], Moscow, TSNIGRI publ., 2001, 232 p. (In Russ.)
5. Migachev I. F. Paleotektonicheskaya pozitsiya mezo-zoyskikh vulkano-plutonicheskikh pojasov vostoka Rossii [Paleotectonic position of Mesozoic volcano-plutonic belts of eastern Russia], Otechestvennaya geologiya, 2009, No. 4, pp. 18–29. (In Russ.)
6. Migachev I. F. Polozheniye andezitoidnykh vulkano-plutonicheskikh pojasov v lateralnykh geostrukturnykh ryadakh [Position of andesitic volcano-plutonic belts in lateral geostructural series], Otechestvennaya geologiya, 2014, No. 6, pp. 3–11. (In Russ.)
7. Migachev I. F., Zvezdov V. S., Konkin V. D. Paleotektonicheskaya pozitsiya bazaltoidnykh vulkano-plutonicheskikh pojasov s mednoporfirovymi mestorozhdeniyami [Paleotectonic position of basaltoid volcano-plutonic belts with porphyry copper deposits], Rudy i metally, 2024, No. 3, pp. 28–46. (In Russ.)
8. Solovyev S. G. Metallogeniya shoshonitovogo magmatizma [Metallogeny of shoshonite magmatism], V. 1, Moscow, Nauchnyy mir publ., 2014, 528 p. (In Russ.)
9. Frolova T. I., Burikov I. A. Magmaticheskiye formatsii sovremennykh geotektonicheskikh obstanovok [Magmatic formations of modern geotectonic settings], Moscow, MGU publ., 1997, 320 p. (In Russ.)
10. Khain V. Ye., Lomize M. G. Geotektonika s osnovami geodinamiki [Geotectonics with the Basics of Geodynamics], Moscow, KDU publ., 2010, 560 p. (In Russ.)
11. Hollister V. F., Anzalone S. A., Richter D. H. Porphyry copper deposits of southern Alaska and contiguous Yukon Territory, Can. Min. and Met. Bull., 1975, V. 68, No. 756, pp. 104–112.
12. Ludington S., Hammarstrom J. M., Robinson G. R. [et. al.] Porphyry Copper Assessment of the Tibetan Plateau, China, Scientific Investigations Report 2010–5090–F, 2010, 73 p.
13. Wang R., Richards J. P., Hou Z. [et. al.] Magmatic water content – the key to oligo-miocene porphyry Cu-Mo ± Au formation in the eastern Gangdese belt, Tibet, Economic Geology, 2014, V. 109, No. 5, pp. 1315–1339.
14. Yin A., Harrison T. M. Geologic evolution of the Himalayan-Tibetan orogen, Annual Review of Earth and Planetary Sciences, 2000, V. 28, No. 1, pp. 211–280.

Статья поступила в редакцию 06.11.25; одобрена после рецензирования 14.11.25; принята к публикации 14.11.25.
The article was submitted 06.11.25; approved after reviewing 14.11.25; accepted for publication 14.11.25.

«Мемуары пока не написаны»

К 90-летию профессора Виктора Ивановича Старостина, заведующего кафедрой геологии, геохимии и экономики полезных ископаемых геологического факультета МГУ им. М. В. Ломоносова

“The memoirs have yet to be written”

On the 90th anniversary of Professor Viktor Ivanovich Starostin, Head of Department of Geology and Geochemistry of Ore Deposits of the Geological Faculty of Lomonosov Moscow State University

Более шести десятилетий заслуженный профессор Московского университета, заслуженный деятель науки РФ Виктор Иванович Старостин трудится во имя укрепления кадрового потенциала рудной геологии и почти сорок лет возглавляет учебную кафедру, созданную академиком Владимиром Ивановичем Смирновым на геологическом факультете МГУ им. М. В. Ломоносова. По просьбе редакции в преддверии своего 90-летия Виктор Иванович дал интервью для читательской аудитории журнала «Отечественная геология».

– Виктор Иванович, в числе читателей «Отечественной геологии» немало ваших учеников – людей, которые слушали ваши лекции, сдавали вам экзамены, и ещё больше геологов, запомнивших ваши выступления на научных семинарах, конференциях, Смирновских чтениях... Сейчас нам трудно представить, что когда-то вы тоже были студентом и внимали своим учителям, стоявшим на кафедре. Расскажите, пожалуйста, как начинался ваш путь в геологии?

– В 1949 году я закончил семь классов десятилетней школы в селе Степное Ростовской области (ныне Яшалта Республики Калмыкия) и вместо того, чтобы окончить десятилетку и по стопам родителей поступить в педагогический вуз, поехал поступать в Новочеркасский геологоразведочный техникум, о котором мне рассказали старшеклассники. В детстве я собирал камни, но, конечно, выбор профессии в 13 лет был в общем-то случайным. Любовь к геологии впервые пробудилась у меня благодаря встрече с преподавателем



Рис. 1. Профессор В. И. Старостин с уникальным образцом, добытым им для учебной коллекции геологического факультета МГУ им. М. В. Ломоносова, – фрагментом постройки чёрного курильщика

лем Новочеркасского политехнического института и нашего геологоразведочного техникума Доливо-Добровольским. Прежде он был профессором Кенигсбергского университета, а после войны вёл у нас курс геологии и минералогии, очень хорошо рассказывал о проблемах науки и показывал образцы руд разных месторождений

из своей прекрасной коллекции (спустя годы, уже работая в Московском университете, я формировал учебную коллекцию (рис. 1) по тем же лекалам). К большому сожалению, сейчас не могу восстановить в памяти имени и отчества нашего лектора, но точно знаю, что в общении с ним я впервые тогда многое понял о профессии геолога, и мне захотелось знать предмет на столь же высоком уровне.

Решение стать геологом не поколебали ни заболевание желтухой, из-за которого я пропустил занятия на первом курсе (навёрстывал в больнице по конспектам однокурсников), ни предписание врачей о строгой диете (что в принципе предполагало выбор неполевой профессии). Наоборот, я занялся спортом, особенно конным. А летом состоялась первая полевая практика – по бурению. Все ребята нашей группы поехали в разные места, я – на Урал, работал на одном из месторождений младшим буровым рабочим. После второго курса была практика по картированию в Заполярье. На этот раз я отправился на Канин нос в Архангельской области, где предстояло вести специальную военную геологическую съёмку в устье реки Шойны, впадающей в Белое море. В Ленинграде вручили инструкцию, как вести документацию и на самолёте отправили на Канин нос. Там дали карту, прикрепили ко мне троих рабочих, и мы бурили по сетке скважины ручного бурения глубиной 5–6 м. (рис. 2). Я документировал керн и все обнажения, встреченные в районе. Зарисовывал слои, вручную составлял таблицы данных, отмечал на карте, где болота, топкие места. В отчёте надо было прямым текстом указать, где «танк пройдет». В сентябре мне поставили за практику «отлично» и начислили премию. Самолёты уже не летали, и мы возвращались на одном из последних кораблей... Мне было тогда неполных 16 лет.

– В мае 1952 года вы уже выпускник Новочеркасского геологоразведочного техникума? Каким вам представлялось будущее, думали ли вы, что когда-нибудь приедете в Москву и поступите в главный университет страны?

– На геологический факультет МГУ поступили трое наших ребят. В то время окончившие техникум с отличием имели право на поступление в любой геологический вуз на льготных основаниях. Этим правом воспользовался, например, мой приятель Миша Щербунев, и он уговаривал меня ехать вместе. Я был отличником, но нам с Викто-

ром Корольковым хотелось сперва поработать. Понимаете, начинался расцвет геологии – в мечтах мы связывали своё будущее с масштабной работой, которая развёртывалась на наших глазах. И в 1952 году мы распределились во Всесоюзный аэрогеологический трест.

В первый полевой сезон выпускников техникума зачислили коллекторами, меня через полгода перевели в прораб-геологи. Тогда, как и сейчас в геологии мы занимались стотысячной съёмкой в Таласском Алатау. Начальником партии был Валентин Семёнович Буртман¹, впоследствии известный учёный-тектонист. Для того чтобы зафрахтовать лошадей для всей партии, я в начале апреля выезжал в Киргизию и нанимал на работу конюхов, оформлял аренду помещений, закупал овёс и прочее. В мае приезжала партия и начиналась работа: мы покрывали огромные расстояния в горных маршрутах, отбирали образцы. Когда через тридцать лет я читал воспоминания Владимира Ивановича Смирнова (они изданы в МГУ под названием «Тропой геолога»), меня поразили совпадения: он тоже в юности работал в Киргизии, в тех же краях, занимался съёмкой, любил лошадей. У него не было консультантов, и он сам ставил себе задачи, действуя интуитивно: например, при поисках месторождений обращал внимание на валуны в русле речек и рисовал ореолы, предполагая, откуда эти камни могли упасть. Первые научные работы он опубликовал в студенческие годы. Так потом складывалась и моя жизнь. Но студентом университета я стал только через несколько лет, потому что в 1954 г. меня призвали в армию, и началась моя служба на Северном флоте.

Между прочим, на флоте служили пять лет, но в начале 1950-х Никита Сергеевич Хрущёв решил Военно-морской флот сократить и службу сократили до двух лет. У меня неожиданно появилась возможность вернуться к любимой профессии. Вот тогда я уже мечтал пройти вступительные испытания в Московском университете. Однако увольнения в армии происходят только в сентябре–октябре, то есть после экзаменов, и я написал письмо адмиралу Николаю Игнатьевичу Виноградову, курировавшему военно-морские учебные

¹ Валентин Семёнович Буртман (1931–2023) – доктор геолого-минералогических наук, автор историко-тектонической модели фанерозойской эволюции Тянь-Шаня и Высокой Азии.



Рис. 2. Ручное бурение на практике по картированию в Заполярье. Фото сделано студентом Новочеркасского геологоразведочного техникума В. И. Старостиным. Канин Нос. 1951 г.

заведения, попросил отпустить меня досрочно в связи со сроками экзаменационной сессии в Московском университете. Он меня вызвал, посмотрел на меня и говорит: «А зачем тебе в МГУ? Я тебе дам рекомендацию и поступай в высшее военное училище. Нам нужны такие ребята в военно-морском училище». Но я ответил, что люблю свою профессию геолога и хочу продолжать образование в МГУ. «Что ж, как хочешь...», – и подписал моё заявление.

– В книге «Рыцарь рудной геологии Анатолий Кривцов» (2024) из серии «Учёные ЦНИГРИ» вы написали, что в 1957 году все абитуриенты геологического факультета МГУ мечтали попасть на кафедру полезных ископаемых, и обмолвились, что вам достичь цели помогла случайная встреча с заведующим кафедрой на полиметаллическом месторождении Тызыл. Так как же вы познакомились с Владимиром Ивановичем Смирновым?

– Когда мы поступали на геологический факультет МГУ, конкурс был 6–7 человек на место.

Экзамены сдавали по пяти предметам – математике, физике, химии, иностранному языку и писали сочинение. Я только демобилизовался к началу сессии, и для подготовки у меня не хватило времени. В итоге по конкурсу я прошёл «со скрипом» и при внутреннем распределении в учебную группу кафедры полезных ископаемых не попал – не хватило баллов. Меня зачислили в группу кафедры геологии и геохимии горючих ископаемых, которой руководил выдающийся геолог-нефтяник Игнатий Осипович Брод². Сейчас все хотят быть нефтяниками, а тогда большинство ребят стремилось поступить на кафедру Владимира Ивановича Смирнова. Кстати, из набравших достаточно высокие баллы в «полезники» брали только тех, кто имел опыт работы на произ-

² Игнатий Осипович Брод (1902–1962) – доктор геолого-минералогических наук, профессор, исследователь и первооткрыватель нефтяных месторождений в различных районах Кавказа, популяризатор науки.

водстве. Этому-то условию я соответствовал благодаря двухлетнему стажу во Всесоюзном объединении «Аэрогеология». В группе нефтяников меня даже назначили старостой группы. Но я всё время хотел перевестись на кафедру полезных ископаемых.

В наше время студенты тоже иногда хотят поменять кафедру и приходят с этой проблемой ко мне как заведующему. И я сразу всем подписываю заявление и счастлив, что могу помочь. Ребята, ни в коем случае не терпите, если вам скучно учиться, – идите туда, где вам интересно и все будет хорошо! Ни в коем случае нельзя пресекать эти передвижения оттого, что мы заботимся о численности учебной группы нашей кафедры.

Послушав две первые лекции по курсу общей геологии, я решил, что освоил этот предмет в геологоразведочном техникуме, и сидеть впустую неинтересно. То же касалось геодезической практики. В учебной части согласились зачесть мне эти предметы и появилась возможность летом поработать в геологической партии. Весной написал письмо в Северо-Кавказское геологическое управление с просьбой принять на временную работу на три месяца и приложил копии диплома техникума и трудовой книжки с записью о работе на Тянь-Шане прорабом-геологом. Там обрадовались и тотчас пришла телеграмма: «Срочно выезжайте». Выслали деньги.

По приезде в Эссентуки меня отправили на полиметаллическое месторождение Тызыл в горах. Начальник партии обрадовался и собрался в отпуск. Прошу: «Расскажите, что и как». А он в ответ: «Да ладно, разберёшься», – и на другой день улетел. Остались какие-то женщины из геолпартии, которые работали в управлении. На утро чеченские горнорабочие приходят – бригада шесть человек: «Начальник, давай работу!» Мне надо определить, где поручить им канаву копать, шурфы. Попросил их прийти через день. В пять утра встал, обошёл весь участок с картой – посмотрел, что и как уже сделали. Теперь можно было дать задание рабочим. Мало того, я вспомнил о дискуссии, развернувшейся в то время и касавшейся границы оруденения. Дело в том, что все месторождения на Северном Кавказе находятся в юрских сланцевых толщах, а выше юры залегают меловые и другие отложения с несогласием. Я знал о научном споре по статьям, которые прочёл, знакомясь с геологией с района. И теперь на моём участке на высоте 1700 м перекрываются

ся отложения и есть несогласие. Я начал картировать это несогласие, поставил бригаду, расканил и задокументировал: оказалось, что жилы упираются в доломиты. Подумал: «Ну что ж, в университете потом расскажу».

Через полтора месяца я во всём разобрался, жила была уже известна. Давал задание рабочим, с утра до вечера лазил по склонам и даже на обед не уходил, перекусывал на месте. Однажды в обеденное время слышу из ложины какие-то звуки. Посмотрел: внизу стоит узик, вокруг него маленькие фигурки – машут мне. А это объезжал месторождения Северного Кавказа Владимир Иванович Смирнов с Галиной Ивановной Бочаровой, Георгием Александровичем Твалчрелидзе³ и другими грузинскими геологами. В Управлении им сказали, что геолог партии сейчас на месторождении: «Поезжайте, покричите, он целыми днями там торчит». Я рассказал, как устроено месторождение, показал образцы (какие-то из них коллеги взяли). В конце разговора обратился к Смирнову: «Владимир Иванович, а я хочу на вашу кафедру перейти». Он говорит: «Ладно». Записал в свою записную книжку. Сели они в машину и уехали на другое месторождение. А я продолжал работать... Контракт мой закончился в конце августа, со мной рассчитались, и я с песнями поехал в Москву в университет.

Владимир Иванович Смирнов отличался обязательностью. Он поговорил с Игнатием Осиповичем Бродом и убедил его подписать мой перевод на кафедру полезных ископаемых, с которой я не расстаюсь 67 лет.

А через некоторое время после описанных событий Галина Ивановна Бочарова в своей кандидатской диссертации сослалась на мою студенческую статью по месторождению Тызыл: одним из тезисов её работы были наблюдения о несогласном залегании.

– Очевидно, преподаватели МГУ, и в первую очередь Владимир Иванович Смирнов, оценили тот факт, что вы опубликовали свою первую научную работу уже после первого курса?

– Конечно. И я сейчас радуюсь, если вижу, что удалось пробудить в молодых людях интерес к самостоятельной научной работе. В Универси-

³ Георгий Александрович Твалчрелидзе (1914–1991) – доктор геолого-минералогических наук, профессор, с 1979 г. – академик АН Грузинской ССР, с 1981 г. – директор Геологического института Грузинской ССР.

тете в наши юные годы выходило периодическое издание «Сборник научных студенческих работ», в котором можно было опубликовать результаты своего исследования, если работа действительно заслуживала внимания. И в начале третьего года обучения я подал вторую свою статью в этот сборник.

Дело было так. Когда после второго курса состоялась практика по картированию, в «Аэрогеологии» мне предложили на два с половиной месяца отправиться в Западный Казахстан, где в это время проводили геологическую съёмку в районе Западных чинков плато Устюрт (обрывов маастрихтских отложений). Меня зачислили прораб-геологом, но на деле пришлось во многом помогать начальнику партии – немолодой женщине, пережившей блокаду Ленинграда. Особенность съёмки в пустынном районе – это сложности в определении границ сотысячного листа: нужно было сориентироваться на местности и около границы обязательно разбурить скважину, чтобы затем можно было «сбить» свой участок с соседним (данные, полученные партиями, картирующими соседние листы, должны совпадать). Я расставил точки, и мы разбурили 5–6 неглубоких картировочных скважин. На этой равнинной территории в преддверии Каспийского моря, в половодье заливаемой водой, возвышаются горюшки-останцы донной поверхности древнего Арало-Каспийского моря. И я по собственной инициативе описал горизонтально-залегающие миоценовые толщи в пределах всех этих останцов, послойно отобрал образцы с фауной. При защите отчёта сказали, что никто эти разрезы прежде не описывал. Я подготовил статью по палеонтологическим данным и принёс её заведующему кафедрой исторической и региональной геологии Алексею Алексеевичу Богданову⁴. На вопрос, можно ли этот новый материал опубликовать, Алексей Алексеевич дал мне телефон Бориса Прокофьевича Жижченко⁵, специалиста по нижнему и среднему миоцену в южных регионах СССР, и сказал, что его одобрение – лучшая рекомендация.

⁴ Алексей Алексеевич Богданов (1907–1971) – доктор геолого-минералогических наук, профессор, член-корреспондент Германской АН в Берлине, Заслуженный деятель науки РСФСР.

⁵ Борис Прокофьевич Жижченко (1907–1983) – доктор геолого-минералогических наук, профессор, стратиграф и палеонтолог.

Борис Прокофьевич Жижченко написал блестящий отзыв на мою студенческую работу: это интересно, ново, раскрывает динамику формирования предгорья. К востоку от Каспийского моря разрезы миоценовых отложений были описаны впервые и теперь полученные сведения можно было сопоставить с данными по хорошо изученному западному Прикаспию. Конечно, фауну я описал довольно примитивно, но Жижченко ничего не стал исправлять: ведь это была студенческая работа. Он много раз ссылался потом на эту студенческую статью. А сам на следующий год поехал с экспедицией в тот же район.

– *У Вас были замечательные интеллигентные учителя. Это очень показательно: профессор подчёркивает приоритет начинающего исследователя.*

– Такими и должны быть отношения в научном сообществе, без уважения и доверия невозможно сохранить университетскую атмосферу. Я навсегда запомнил, как во время защиты моей кандидатской диссертации «Геологическая структура Блявинского рудного поля. Южный Урал» в 1965 году моему научному руководителю Владимиру Ивановичу Смирнову сказали: как же вы допустили, что ваш ученик сделал выводы, противоречащие вашей точке зрения (речь шла о дискуссионной тогда гипотезе вулканогенно-осадочного генезиса колчеданов). И Владимир Иванович ответил: «Он ещё молодой, разберётся».

– *Готовясь к интервью, я узнала, что вскоре после защиты кандидатской диссертации вы были командированы на стажировку в Сорбонну. Какие задачи заведующий кафедрой полезных ископаемых геологического факультета ставил перед вами, молодым сотрудником МГУ, отправляя во Францию?*

– Это был 1971 год. Научные сотрудники Московского и Ленинградского университетов (геологи, физики, химики) поехали на стажировку в Сорбонну по межвузовскому обмену. Владимир Иванович Смирнов сказал мне: «Посмотри, что там интересного. Поучись». Он хотел, чтобы я познакомился с методами преподавания в Сорбонне. Мы с коллегами из Франции были в хороших отношениях, я ещё до поездки принимал профессоров на нашей кафедре. Между прочим, французская геологическая научная школа близка российской, в частности вниманием к стратиграфии, у нас общие традиции геологического картирования. Французские геологи много рабо-



Рис. 3. Полевой выезд группы студентов Сорбонны под руководством известного французского геолога Пьера Рутье. Фото сделано стажёром В. И. Старостиным. Центральный массив Франции. 1972 г.

тали в Северной Африке, Индокитае, и все карты, там составленные, сделаны ими.

Прежде чем ехать на стажировку, я год изучал французский. А по прибытии на протяжении двух месяцев слушал лекции по геологии Франции в Университете Монпелье на юге страны (этот древний университет основан в XIII веке). Там своя научная школа и я изучал геологическую терминологию. Когда приехали в Сорбонну, пришёл к крупнейшему французскому геологу Пьеру Рутье⁶ и по совету Владимира Ивановича Смирнова попросил его быть моим научным руководителем. Он согласился и составил программу моей стажировки на год вперёд. Я слушал лекции Рутье в Сорбонне, вместе с группой его студентов 4–5 курсов ездил на практику – прежде всего, на урановые месторождения Центрального

массива Франции (палеозойского и докембрийского возраста), а также свинцово-цинковые, локализованные в обрамлении Центрального массива (в чехле мезозойского возраста). Нашей задачей было изучение разрабатываемых и ещё не освоенных месторождений гидротермально-осадочного генезиса (рис. 3).

Я стал свидетелем событий, связанных с реорганизацией Сорбонны: в университете были упразднены кафедры и усилились междисциплинарные связи. Профессура (за редким исключением, в которое входил и Пьер Рутье) противилась реформам, и в знак солидарности студенты выходили на демонстрации, даже пилили старинные платаны, символизируя угрозу уничтожения науки опасными нововведениями. Но в итоге реорганизация пошла во благо университету. По возвращении в Москву я выступил на факультете и рассказал о пользе французских реформ. Мне они казались настолько очевидными и правильными! Но коллеги не разделили моего энтузиазма, и декан Алексей Алексеевич Богданов попросил «умерить свой пыл». Московский университет

⁶ Пьер Рутье (1916–2008) – французский геолог, получивший в 1959 г. авторитетную премию Госселе за достижения в области прикладной геологии, в 1964 г. – президент Геологического общества Франции, в 1987–1989 гг. – президент Союза геологов Франции.

традиционно сохраняет кафедральную структуру, введённую в Средние века.

С пребыванием в Сорбонне связано ещё одно важное событие в моей жизни. Французские коллеги предложили мне работать в ЮНЕСКО – подписать пятилетний контракт после стажировки. Тогда я смог бы в качестве эксперта побывать на всех месторождениях, где Франция ведёт научные работы. На проходившем в Париже совещании ЮНЕСКО по составлению геологических карт Евразии и Восточной Европы об этом предложении стало известно декану геологического факультета МГУ Алексею Алексеевичу Богданову, и он отнёсся позитивно. Вскоре я вернулся в Москву и поспешил к Владимиру Ивановичу Смирнову. С радостными глазами выложил ему новость о возможности поработать в ЮНЕСКО. Он помолчал и говорит: «Я не возражаю. Но знаете, что кафедра и Московский университет будут для вас уже закрыты». Я ответил сразу: «Владимир Иванович, я снимаю это предложение». И позвонил Богданову, чтобы мою кандидатуру больше не рассматривали в связи с назначением в ЮНЕСКО.

– *Почему Владимир Иванович Смирнов так жёстко отреагировал на ваш интерес к работе в ЮНЕСКО?*

– Я признателен за урок, преподанный мне Владимиром Ивановичем: ведь если бы я пошёл работать в ЮНЕСКО, то не мог бы выбирать объект исследований, я стал бы чиновником. Владимир Иванович считал, что человек, избравший работу в высшей школе, должен расти и совершенствоваться именно в этой сфере. И потом на молодого сотрудника кафедры, кандидата наук, получившего разнообразный исследовательский и педагогический опыт, ложится ответственность за её развитие. Поэтому сразу же по возвращении со стажировки я организовал на кафедре полезных ископаемых структурно-петрофизическую лабораторию, в которой могли работать аспиранты. В 1970–1980-е годы совместно с Алексеем Алексеевичем Бурмистровым и Александром Лукичом Дергачёвым⁷ мы создали новое направление исследований на нашей кафедре – структурно-петрофизический анализ месторождений полезных ископаемых.

⁷ Александр Лукич Дергачёв – доктор геолого-минералогических наук, заместитель декана геологического факультета МГУ им. М. В. Ломоносова по внешним связям.

Всю жизнь я регулярно выезжал на месторождения. Готовя докторскую диссертацию, изучал петрофизику колчеданных месторождений Кольского полуострова, Карелии, Северного Кавказа, Урала, Казахстана, Киргизии, Забайкалья. В дальнейшем побывал почти на всех рудных объектах Европейских стран, Китая, США, Канады, Мексики (дважды приезжал в эту страну), Бразилии, Чили...

В университете очень важно найти для кафедры человека, который будет развивать её ключевые направления. Помню, как сидел вот на этом самом диванчике в кабинете заведующего кафедрой, а Владимир Иванович Смирнов – напротив, и он сказал: «Я хочу, чтобы вы занялись металлогенией». Конечно, он хотел заниматься металлогенией сам, но понимал, что его время уходит и сил написать учебный курс так, как он считал необходимым, уже не остаётся. А сделать абы как он не хотел. И его предложение не просто определило и расширило мои научные интересы, а изменило мой подход к работе и всю мою жизнь.

Я хотел бы, чтобы заведующим нашей кафедры после меня стал эрудированный человек, которому интересно вести ключевые учебные курсы по геологии полезных ископаемых и металлогении, и он готов взять на себя эту ответственность. Александр Сергеевич Якубчук⁸ – истинный исследователь и выпускник Московского университета. Большую часть жизни он работал не в высшей школе, зато у него разнообразный опыт изучения месторождений – и это главное.

– *Вы трудитесь в МГУ более шестидесяти лет. Чем притягательна преподавательская работа?*

Надо любить читать лекции, без этого невозможно учить студентов. Если я буду вынужден перестать читать, то жизнь станет мне неинтересна. В преподавательской работе сильнейшее творческое начало: я каждый год преподаю слушателям тему немного иначе. И учебные пособия тоже подлежат переработке, потому что появляются новые научные данные. Так, мы с Петром Алексеевичем Игнатовым⁹ недавно подготовили 3-е издание учебника «Геология полез-

⁸ Александр Сергеевич Якубчук – доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры геологии, геохимии и экономики полезных ископаемых МГУ им. М. В. Ломоносова.

⁹ Пётр Алексеевич Игнатов – доктор геолого-минералогических наук, профессор, заведующий кафедрой геологии месторождений полезных ископаемых МГРИ.

ных ископаемых», исправленное и дополненное, и учебник вышел в 2023 году в серии «Классический университетский учебник».

Я стараюсь донести до наших студентов важную истину: мы используем лишь малую часть химических элементов – те полезные ископаемые, которые актуальны для экономического развития сегодня. А о потребностях завтрашнего дня сегодня думают с опозданием. Есть термин «редкие земли», но эти элементы не такие уж и редкие, просто не были востребованы и их месторождения не исследовали. Металлогения изучает все виды полезных ископаемых, но, увы, это научное направление недостаточно финансируется.

В лекторской работе помогают огромная библиотека и учебные коллекции, которые я собираю много лет. Мне кажется, что рассказывать о геологии без образцов абсолютно бессмысленно. Геолог должен быть хорошим минералогом.

Нашему поколению повезло. Например, я во время преддипломной практики 1961 года на медноколчеданном месторождении Гай лазил по камерам взрыва и своими глазами видел взаимоотношения руд с вмещающими породами – туфами, лавами, дайками. Для того, чтобы в течение 10 минут видеть обнажившиеся после взрыва породы, которые рабочие почти сразу начинают закрывать, укрепляя шахту брёвнами и досками, я в шесть утра приезжал вместе с первой сменой бригады буровзрывных работ. Это была совершенно сказочная практика, а теперь наши студенты её лишены. Как вырастить специалистов без практики работы на месторождениях?

– *Что бы вы изменили в системе взаимодействия высшей школы и производственных организаций геологического профиля?*

– Главная задача университета – создать условия для интеллектуального и профессионального роста студентов. В нашей научной сфере – рудной геологии – невозможно вырастить специалиста без полноценной практики исследований на месторождениях, которую традиционно проводят на старших курсах (четвёртый, пятый годы обучения). В настоящее время горнорудные компании готовы зачислять во временный штат студентов в качестве коллекторов, и от них там не ждут отдачи как от специалистов. Возможности научного руководителя студента ограничены: он может, со своей стороны, составить для него план производственной практики, который позволит собрать материал для курсовой или дипломной

работы. Но сам сотрудник университета не причастен к практическим исследованиям на месторождении, он не ведёт студента на объекте (поэтому иногда здесь нужно находить соруководителей), и часть данных, востребованных для его изучения, мы получить не можем априори, так как они составляют коммерческую тайну предприятия. Компания, разрабатывающая месторождение, довольствуется своими специалистами. Но не всякая производственная организация может иметь квалифицированных специалистов по всему комплексу исследования месторождения. А университет как раз может быть очень полезен для решения этой задачи, так как привлекает всю широту геологического знания – и стратиграфию, и тектонику, и геофизику... (При этом нам надо усиливать горизонтальные связи на факультете, так как узкая специализация на кафедрах тормозит рост молодых специалистов). Вообще для того, чтобы изучить месторождение, надо исследовать все безрудные зоны по периферии, понять условия возникновения месторождения – это фундамент и ключ к дальнейшим находкам.

Я считаю более рациональной и, вне всяких сомнений, полезной для роста геологических кадров систему отношений высшей школы и геологоразведочной или горнобуровой практики, которая действовала в советское время. Министерству геологии подчинялись геологические управления, которые решали все вопросы разведки и эксплуатации месторождений и заключали с университетами хозяйственные договоры. В вузах геологического профиля для такого взаимодействия были научно-исследовательские отделы. Мы имели договор на несколько лет и системно картировали месторождение, составляли планы, разрезы, документировали керн, изучали дайки... Разумеется, сейчас месторождения в частной собственности. Но можно было бы расширить полномочия Государственной геологической службы в плане оформления допуска студентов на рудные объекты и тем самым поддержать геологическое образование в стране.

– *Все, кто бывал на кафедре геологии, геохимии и экономики полезных ископаемых и в вашем кабинете, представляют себе масштаб и ценность грандиозной геологической коллекции, собранной вами. Расскажите, пожалуйста, немного об истории самых ценных образцов коллекции.*

– Я горжусь тем, что первым в Европе привёз для учебных коллекций образцы лавы магнетита

(рис. 4, А) с третичного вулкана Эль-Лако, расположенного в Андах на территории Чили (и таким образом мое имя вошло в мировую справочную литературу). Это уникальный материал, которым обладает геологический факультет МГУ. Во время извержения вулкана магнетитовая лава текла потоком мощностью до 30 м, а застыв, сформировала мономинеральную горную породу особенной структуры. Я узнал об этом явлении, когда на протяжении трёх месяцев читал лекции в Чили в Северном университете Антофагасты (городе на берегу Тихого океана). Чилийцы описали данный объект как скарновое месторождение. Магнетитовая лава – это настолько необычно, что представляется абсурдом, не только тогда, но и сейчас. Мне очень хотелось увидеть такое чудо своими глазами, и в конце концов мы с двумя коллегами-профессорами (мужем и женой), с которыми я подружился, на университетской машине отправились в путь. Проехали медное месторождение Чукикамата (один из величайших гигантов мира по меди), затем пересекли всю пустыню Атакама, достигли Анд и поднялись на машине до 3000 м. Дальше машина двигаться не могла и мои спутники не сумели продолжить восхождение. Тогда я под пронизывающим ветром, в свитере и плаще, без снаряжения прошёл до края лавы в одиночку. Был такой азарт, что я не замечал, что замерз. Отбил образцов килограммов на десять, пять из них потом оставил чилийцам.

Шёл сентябрь 1973 года, в те дни был застрелен Сальвадор Альенде. Мне как советскому гражданину пришлось срочно уехать. Коллеги вручили деньги, я с вещами и геологическими образцами вышел на трассу и поехал автостопом в Сантьяго. По всей трассе были развёрнуты армейские кордоны: проверяли документы у пассажиров гражданского транспорта. Я ехал в грузовике и проскочил. В Сантьяго в советское посольство меня уже не пустили, здание было закрыто и вход забаррикадирован. Тогда я пошёл во французское посольство (благодаря стажировке в Сорбонне владел французским языком) и работники посольства отправили меня последним самолётом в Дакар (транзитом через Бразилию). Но в Сан-Паоло меня вдруг сняли с рейса: датчики среагировали на 10 кг железа. Полиция стала со мной разбираться и, к счастью, пока самолёт ждал дозаправки, меня отпустили. Я им показал документы Московского университета, объяснил, что везу пробы с чилийского месторождения для

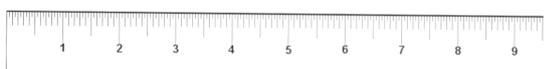
учебных коллекций. И бразильцы махнули рукой: лети. По прилёте в Дакар французы попрощались со мной, и я обратился в советское посольство. Тут мне уже помогли вернуться на Родину.

В нашей учебной коллекции немало интересных образцов. (рис. 4, 5). Например, железная руда с рудника Шилу на острове Хайнань (рис. 4, Б) или вторичные руды медно-молибденового порфинового месторождения Дэсин в Китае (рис. 4, Г). Этот образец вторичных руд отобран из штольни в верхней части месторождения – их извлекают первыми, они самые богатые. За свою жизнь я посетил сотни месторождений, но увидеть такие руды довелось один раз в жизни. В советское время я раз десять был в Китае на разных месторождениях. Старался разобраться, как устроено каждое из них и какие положения могут защищать мои аспиранты. Для китайских геологов учиться в аспирантуре Московского университета было очень престижно. Вице-президент Академии наук Китая Ли Сыгуан¹⁰ в 1950-е годы приезжал в Москву и слушал лекции на нашей кафедре. Я знаю по крайней мере трёх членов Китайской академии геологических наук, которые окончили кафедру полезных ископаемых: Ян Лей, Ван Цзюнь и Чен Дженъ.

Несколько раз я ездил в США. Из привезённых оттуда интересных образцов в нашей учебной коллекции есть, например, руда свинцово-цинкового месторождения Миссисипи-Миссури (рис. 4, В), эксплуатируемого с конца 19-го столетия. Надо сказать, что именно в США и Канаде в 1920-е годы начались наиболее прогрессивные и квалифицированные геологические работы. Владимир Иванович Смирнов и его учитель, основатель отечественной научной школы поисков и разведки полезных ископаемых Владимир Михайлович Крейтер очень ценили канадско-американскую геологическую школу. Американская государственная геологическая служба занималась систематическими исследованиями и покрыла геологической съёмкой всю территорию страны, была составлена геохимическая карта миллионного масштаба. Государство нуждалось в развитии геологоразведочной отрасли, ведь поначалу даже гранит для строительства Капитолия везли из Европы. Поэтому США вложили

¹⁰ Ли Сыгуан (1889–1971) – основатель китайской геомеханики, член Китайской академии наук, иностранный член Академии наук СССР с 1958 г.

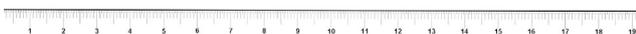
А



Б



В



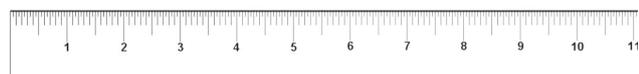
Г



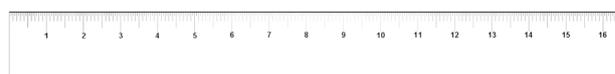
Рис. 4. Избранное из учебной коллекции кафедры геологии, геохимии и экономики полезных ископаемых геологического факультета МГУ им. М. В. Ломоносова: руды Чили, Китая, США

А – магнетитовая лава вулкана Лако в Центральных Андах. Чили, Б – архейская железная руда с месторождения Шилу острова Хайнань, Китай, В – Свинцово-цинковые руды из провинции Миссисипи. США, Г – Вторичные сульфидные руды зоны окисления медно-молибден-порфирового месторождения Дэсин провинции Янцзы. Китай

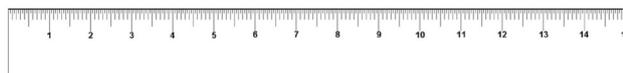
Д



Е



Ж



З

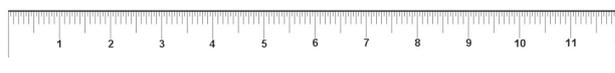


Рис. 5. Избранное из учебной коллекции кафедры геологии, геохимии и экономики полезных ископаемых геологического факультета МГУ им. М. В. Ломоносова: руды Канады, Эквадора, ЮАР, Австралии

Д – медно-никелевая (с Pt) руда с месторождения Садбери. Канада, Е – ксенолиты мантийного оливина из базальтовых лав Галапагосских островов, Ж – слоистые железные руды месторождения Бушвелд. Южная Африка, З – медно-никель-платино-золотые руды мезокайнозойского рудного восточного пояса. Австралия

огромные средства в работу Геологической службы для создания геохимической системы поиска, и над этой задачей работали крупные учёные.

Впоследствии американские горнорудные компании платили Государственной геологической службе за рекомендации по разведке и разработке месторождений. Геологическая служба США обеспечила государство исчерпывающими сведениями о минеральных ресурсах страны. Китай последовал примеру, американцев, развернул геологическую съёмку, и теперь эти страны изучили свои территории так, как нужно для успешных поисков месторождений.

В нашей учебной коллекции есть образец медно-никелевой окисленной руды месторождения Садбери в Канаде (рис. 5, Д). Я был там всего два дня для того, чтобы увидеть гигант мирового масштаба. Садбери сродни Норильским месторождениям.

Вот два образца из совершенно разных районов мира: гранатовый эклогит с Чукотки и эклогитовый оливинит с Галапагосских островов (рис. 5, Е). В наших руках – свидетельство единства грандиозных процессов в недрах Земли: материал обоих образцов вынесен при очередных извержениях вулканов из верхней мантии планеты, примерно с одной глубины. Я нашёл образец эклогитового оливинита во время маршрута на острове Изабелла, когда мы высаживались там в рейсе научно-исследовательского судна «Дмитрий Менделеев» в 1969 году. В том рейсе мы изучали донные отложения Тихого океана, я руководил бригадой драгирования. Владимир Иванович Смирнов прилетел в Эквадор, присоединился к экспедиции (рис. 6), и мы побывали на Галапагосах, затем на Гавайях.

А вот этот образец поднят со Срединно-Атлантического хребта с глубины 2276 м – часть постройки чёрного курильщика гидротермального поля Рейнбоу (рис. 1). Совершенно уникальный образец! В 2002 году на Смирновских чтениях началось моё сотрудничество с коллегами из Института океанологии¹¹. В рейсе НИС Мстислав Келдыш мы вели исследования на глубоководном аппарате с Анатолием Михайловичем Сагалевичем¹². Глубина – совсем другой мир, попасть

сюда не менее интересно, чем в космос. Нет зелёного цвета, только чёрное и чёрно-белое... Я не видел ничего более изящного, неизвестного и загадочного, чем постройка курильщика. Вообще человека отличает романтизм, без которого он не стал бы ни художником, ни поэтом, ни учёным. Студентам я стараюсь объяснить, что в геологии удивительное сочетание тайн, и, если ты отщипнёшь даже крохотную часть тайны, значит прожил не зря. Это будет согревать тебя всю жизнь.

– *Смирновские чтения, учреждённые при нашем активном участии, – одна из самых авторитетных конференций геологического научного сообщества. В определённом смысле по материалам Смирновских чтений можно изучать тенденции развития научной мысли в последние несколько десятилетий. Не так ли?*

– Смирновские чтения – продолжение традиции знаменитых Всесоюзных металлогенических совещаний, проводившихся Владимиром Ивановичем Смирновым в 1958–1987 гг. На ежегодных чтениях в честь нашего Учителя собирался цвет отечественной геологии. Вот только несколько имён: академики Н. Л. Добрецов, В. А. Жариков, Н. П. Лавёров, Ф. А. Летников, А. П. Лисицын, А. А. Маракушев, Ю. М. Пушаровский, Д. В. Рундквист, В. Н. Страхов, В. Е. Хаин, Н. А. Шило, члены-корреспонденты РАН Ю. М. Арский, Л. Н. Овчинников, И. Д. Рябчиков, Б. А. Соколов, академики РАЕН М. Б. Гохберг, А. Е. Козловский, А. И. Кривцов, В. П. Орлов, В. Т. Трофимов, В. П. Федорчук, А. Д. Щеглов. Приезжали и зарубежные коллеги – Н. Уайт, Д. Ходжсон и др. Эти встречи были для нас как глоток воздуха и помогли геологам сохранить научные связи, пережить трудные для отечественной науки 90-е годы XX века.

Иногда Смирновские чтения открывает ректор МГУ академик Виктор Антонович Садовничий (рис. 7). Участникам чтений запомнился сделанный им несколько лет назад интереснейший доклад о роли университета в развитии науки и цивилизации.

На Смирновских чтениях обсуждались самые актуальные и интересные проблемы рудной геологии. Так, А. И. Кривцов вынес на обсуждение тему моделирования рудных месторождений. Академик А. А. Маракушев прочёл доклад «Новые аспекты в теории эндогенного рудообразования». В. Е. Хаин выступал с работами «Средиземноморский подвижный пояс» и «Минерагенез в тектонической истории Земли», Н. П. Лавёров с до-

¹¹ Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН.

¹² Анатолий Михайлович Сагалевич – доктор технических наук, профессор, исследователь Мирового океана с применением глубоководных обитаемых аппаратов, Герой России.



Рис. 6. Академик В. И. Смирнов и младший научный сотрудник возглавляемой им кафедры полезных ископаемых геологического факультета МГУ В. И. Старостин в первом рейсе НИС «Дмитрий Менделеев». Тихий океан. 1969 г.

кладом «Природные и техногенные концентрации радиоактивных элементов», Д. В. Рундквист с докладом «Глобальная металлогения», Н. Л. Добрецов по теме «Рудообразование и глобальные геологические процессы: эволюция и проблемы периодичности». Н. А. Шило вышел к аудитории Смирновских чтений с крупными обобщениями «Вулканические пояса и их золотосеребряная минерализация» и «Витватерсранд и проблема рудообразования». А. П. Лисицын представил доклад на животрепещущую тему «Современные гидротермальные системы Мирового океана», Ю. М. Арский посвятил выступление про-

блеме «Геоинформатика как составная часть комплекса современных наук о Земле», В. Н. Стрехов выбрал тему «Смена парадигм – это смена стереотипов мышления». Смирновские сборники стали своеобразной энциклопедией жизни геологического общества России конца XX–начала XXI вв.

– Бывало ли так, что встречи с коллегами на научных конференциях расширяли Ваши научные интересы и становились началом новых исследований?

– Около 15 лет назад на Международном геологическом конгрессе в Австралии я познакомился

с австралийским геохимиком Исайей Соломоновичем Гольдбергом¹³ и с тех пор мы постоянно на связи, хотя нас разделяет огромное расстояние. У нас общие научные интересы. В настоящее время мы сотрудничаем в вопросах объединения подходов металлогении и сейсмологии на геоэлектрохимической и квантово-механической основе для объяснения условий формирования рудных месторождений в сейсмическом режиме. Наша новая книга в соавторстве с Исайей Гольдбергом и Игнасио Гонсалес-Альваресом «Металлогенические провинции как очаги землетрясений на геоэлектрохимической и квантово-механической основе» сейчас проходит предпечатную подготовку в издательстве МГУ и скоро выйдет в свет.

Несколько лет назад совместно с научным сотрудником МГУ Владимиром Алексеевичем Кривицким и специалистом по квантовой механике Геннадием Владимировичем Мышинским из Объединенного института ядерных исследований Дубны мы начали заниматься ещё одной, очень интересной для меня работой, связанной с новыми воззрениями на генезис рудных месторождений в свете предложенной на рубеже 2020-х гг. теории низкоэнергетических ядерных реакций. Эта теория основана на положении о резонансном интерференционном обменном взаимодействии и допускает возможность преобразования одних химических элементов в другие химические элементы в условиях планет, в том числе и на Земле. К глубокой моей печали Владимир Алексеевич недавно ушёл из жизни. Но написанная мной и Геннадием Владимировичем Мышинским абсолютно новая книга «Введение в квантовую геологию минеральных ресурсов» выйдет в издательстве МГУ до конца 2025 года. В ней развиваются идеи, впервые высказанные Владимиром Алексеевичем Кривицким. И в минувшем учебном году я впервые прочёл одноимённый курс для магистрантов и аспирантов кафедры геологии, геохимии и экономики полезных ископаемых геологического факультета МГУ.

– *Сегодняшний разговор позволил осветить лишь малую часть пережитого и передуманного вами. У вас такая интересная жизнь. Размышляли ли вы когда-нибудь о написании мемуаров?*

– Мои сверстники действительно стали участниками удивительной эпохи в развитии отече-



Рис. 7. Ректор МГУ им. М. В. Ломоносова академик В. А. Садовничий и председатель Фонда имени академика В. И. Смирнова профессор В. И. Старостин перед открытием Смирновских чтений. 2010-е годы

ственной геологической отрасли. Но надо суметь рассказать об этом. Мои мемуары пока не написаны. Я стараюсь делиться своими мыслями со студентами. Если они слушают заинтересованно, это радует.

– *Дорогой Виктор Иванович, спасибо, что нашли время для интервью. От имени редакции, редколлегии и читателей журнала «Отечественная геология» позвольте поздравить вас с замечательным юбилеем!*

– Сердечно благодарю читателей «Отечественной геологии», редколлегия, главного редактора журнала Анатолия Иннокентьевича Иванова за ценный подарок – возможность в этом интервью рассказать о моих учителях и вспомнить вехи жизни. А жить интересно, потому что я живу в геологии, я просто очень это люблю.

*Беседовала научный сотрудник
ФГБУ «ЦНИГРИ» Е. В. Сидорова*

¹³ Исай Соломонович Гольдберг – доктор геолого-минералогических наук, российский и австралийский геохимик, изобретатель.

90-летие Александра Николаевича Барышева

Александр Николаевич окончил Московский институт цветных металлов и золота в мае 1959 года, получив диплом с отличием горного инженера-геолога по специальности «Геология и разведка месторождений редких и радиоактивных руд», и поступил в ЦНИГРИ, где работает по настоящее время.

Первые два с половиной десятилетия он посвятил изучению колчеданных месторождений Кавказа, Чингиза, Рудного Алтая, Гиссара, Урала. Результаты исследований геологических и палеовулканических структур рудных полей на основе картирования масштаба 1 : 10 000, условий локализации, морфологии и генезиса рудных тел вошли в тематические отчёты и были суммированы в диссертациях кандидатской – «Основные черты структуры Худесского рудного поля» (1965) и докторской – «Строение и условия формирования колчеданосных систем вулканогенных геосинклиналией» (1983).

А. Н. Барышев один из первых в нашей стране показал теснейшую пространственно-временную связь колчеданных рудных тел с кремнекислыми экстрезивами и депрессиями (на примере месторождений Худес, Николаевское, Ново-Золотушинское, Южный Карасан). Обобщения материалов по палеовулканическим структурам рудных полей, позиции и зональности месторождений послужили основанием для создания концепции о вулканогенно-рудных узлах как надочаговых рудно-магматических системах и пространственной периодичности их размещения через расстояния, кратные ~ 30 км.

В следующие четыре десятилетия в исследованиях Александра Николаевича главное внимание уделено региональным и глобальным металлогеническим закономерностям, а также прогнозным исследованиям на основе структурно-формационного, тектонического, геодинамического анализов. Толчком к тому стали трёхлетняя (1985–1988) работа в качестве главного геолога по металлогении группы обобщения СЭВ на Кубе, участие в составлении карты полезных ископаемых Кубы (1988). После этого А. Н. Барышев занимался исследованиями месторождений цветных металлов, золота, разработкой прогнозных критериев, составлением карт. С использованием карт геологических и полезных ископаемых масштаба 1 : 500 000 Кубы, Урала им составлены металлогенические карты и их оригинальные структурно-формационные основы. В дальнейшем А. Н. Барышевым были усовершенствованы принципы и методика анализа эволюции рядов литолого-формационных комплексов, геодинамики, типов месторождений, составлена карта тектоники и рудоносности Средиземного, Чёрного морей и их окружения в масштабе 1 : 5 000 000. Легенда к этой карте была разработана на оригинальных принципах, которые при обзорном масштабе позволяют учитывать связь типов месторождений с тектоническими и геодинамическими условиями их формирования. Эти материалы отражены в монографии «Геоструктуры и минерагения Средиземноморья» (2005).

Большой опыт, полученный при составлении геологических и металлогенических карт разного масштаба, их анализ с позиций теоретической и экспериментальной тектонофизики привели А. Н. Барышева к разработке концепции о периодических геодинамических и металлогенических системах, которая представляет новое научное направление в тектонике и металлогении, чему были посвящены последние



Александру Николаевичу Барышеву, ведущему научному сотруднику ЦНИГРИ, доктору геолого-минералогических наук, Почётному разведчику недр, академику Российской академии естественных наук (РАЕН) 7 декабря 2025 г. исполнилось 90 лет.

десятилетия его работы. Кроме того, в последние 15 лет Александр Николаевич работал над проблемами геодинамики алмазоносных систем, что отражено в ряде его статей.

Среди публикаций, в которых содержатся другие научные новшества, особое место занимает монография А. Н. Барышева «Геодинамика, тектоника, минерагения: системный анализ», не имеющая подобных аналогов. Александр Николаевич является автором более двухсот научных трудов, в их числе 5 монографий (две с соавторами), а также 165 статей и тезисов, 130 из которых без соавторов. Он достойно представлял российскую геологическую науку за рубежом, работая в Болгарии и на Кубе. Является членом Учёного и Диссертационного советов ЦНИГРИ, Почётным членом Российского геологического общества. Александр Николаевич награждён медалями «В память 850-летия Москвы», «65 лет Победы в Великой Отечественной войне 1941–1945 гг.», знаком «300 лет горно-геологической службе России», а также другими наградами.

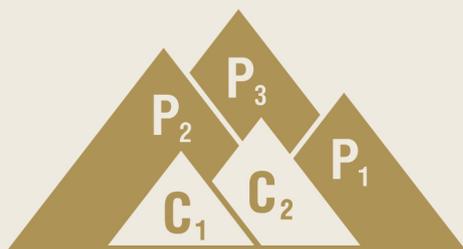
Сердечно поздравляем Александра Николаевича с юбилеем, желаем ему крепкого здоровья, неугасаемой энергии в науке и творческих увлечениях, радости в жизни.

*Учёный совет
Коллектив сотрудников ФГБУ «ЦНИГРИ»*





conf.tsnigri.ru



14–17.04.2026

XV

МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
ГЕОЛОГИЯ, ПРОГНОЗ, ПОИСКИ И ОЦЕНКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ
АЛМАЗОВ, БЛАГОРОДНЫХ И ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ



Для участия в конференции приглашаются представители территориальных органов Роснедр, геологоразведочных предприятий, сервисных компаний, научно-исследовательских отраслевых, академических институтов и ВУЗов

МЕСТО И ВРЕМЯ

ФГБУ «ЦНИГРИ»
Москва, Варшавское ш.,
д. 129, корп.1

14–17 апреля 2026 г.



КОНТАКТЫ

Фомина Марина Ивановна
ученый секретарь, к. г.-м. н.
+7 (495) 315-4365 (доб. 121)

conference@tsnigri.ru



11–13.02.2026

РУДНАЯ ШКОЛА ЦНИГРИ

Ежегодная молодежная научно-образовательная конференция
«Минерально-сырьевая база алмазов, благородных и цветных
металлов – от прогноза к добыче»



Для участия в мероприятии приглашаются студенты и аспиранты геологических направлений, молодые сотрудники подведомственных организаций Роснедр, ВУЗов, институтов РАН и горнодобывающих компаний

МЕСТО И ВРЕМЯ

ФГБУ «ЦНИГРИ»
Москва, Варшавское ш.,
д. 129, корп.1

11–13 февраля 2026 г.

КОНТАКТЫ

Бедретдинова Юлия
+7 (495) 315-43-65
(доб. 375)

young@tsnigri.ru



young.tsnigri.ru